TA/TL/2024/1868

TUGAS AKHIR

PENGARUH SAMPAH ORGANIK PASAR DAN RESTORAN TERHADAP KANDUNGAN LOGAM BERAT (Pb, Cd, Fe, Cr) PADA MAGGOT *BLACK SOLDIER FLY* (BSF)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

ANDI TEGAR VIRGIE SINENSIS

20513263

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2024

TUGAS AKHIR

PENGARUH SAMPAH ORGANIK PASAR DAN RESTORAN TERHADAP KANDUNGAN LOGAM BERAT (Pb, Cd, Fe, Cr) PADA LARVA *BLACK SOLDIER FLY* (BSF) YANG DIINTEGRASIKAN DENGAN AQUAPONIK

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

ANDI TEGAR VIRGIE SINENSIS
20513263

Disetujui,
Dosen Pembimbing

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

NIK. 155130507
Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.

NIK. 045130401

Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH SAMPAH ORGANIK PASAR DAN RESTORAN TERHADAP KANDUNGAN LOGAM BERAT (Pb, Cd, Fe, Cr) PADA LARVA *BLACK SOLDIER FLY* (BSF) YANG DIINTEGRASIKAN DENGAN AQUAPONIK

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : selasa

Tanggal : 22 Oktober 2024

Disusun Oleh:

ANDI TEGAR VIRGIE SINENSIS

20513263

Tim Penguji:

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D. ( )

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. ( )

Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng. ( )

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Tulisan ini merupakan hasil orisinil dan belum pernah diajukan untuk tujuan mendapatkan gelar akademik di Universitas Islam Indonesia atau lembaga pendidikan tinggi lainnya.
2. Karya ini merupakan produk dari pemikiran, perumusan, dan penelitian saya sendiri, dengan panduan dan bimbingan dari Dosen Pembimbing, tanpa melibatkan pihak lain.
3. Dalam tulisan ini, tidak ada penggunaan karya atau pandangan orang lain kecuali jika diakui secara jelas dalam teks dengan menyebutkan nama penulisnya dan mengikutsertakannya dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di masa mendatang terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 03 Juli 2024

Yang membuat pernyataan,



Andi Tegar Virgie Sinensis

NIM: 20513263

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul "Pengaruh Sampah Organik Pasar dan Restoran Terhadap Kandungan Logam Berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada Larva *Black Soldier Fly* (BSF)" dengan baik.

Begitu banyak bimbingan, petunjuk, dorongan dan bantuan baik secara moral maupun material. Serta doa restu dari semua pihak yang telah penulis dapatkan selama dalam penyelesaian Tugas Akhir. Maka dengan segala kerendahan hati, perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Bapak dan Mama serta Adik atas segala doa dan dukungan yang selalu selalu mengiringi tiap langkah dalam perjalanan hidup penulis. Terima kasih sudah menjadi tempat untuk berteduh yang hangat;
3. Bapak Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan saran, bimbingan dan juga penilaian kepada penulis mulai dari penyusunan proposal hingga penyelesaian tugas akhir ini;
4. Para dosen dan pengajar yang selama ini telah memberikan ilmu maupun fasilitas yang sangat bermanfaat untuk penulis selama proses menempuh Pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia;
5. Hatta Gutama, S.T. yang senantiasa membimbing penulis dalam penyusunan tugas akhir serta membantu menjalankan sistem akuaponik;
6. Amalia Hardiyanti Putri yang telah membantu, mendukung dan menemani penulis dalam proses perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir ini;

7. Keluarga Merak Jawa dan teman-teman seperjuangan angkatan 2020 yang telah menemani dan membantu penulis selama proses perkuliahan dan juga telah memberikan banyak cerita dimasa kuliah.

Penulis sadar bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Terlepas dari hal tersebut, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan penelitian selanjutnya. Kritik dan saran yang membangun penulis sangat dibutuhkan agar tugas akhir ini menjadi lebih baik.

Akhir kata, penulis meminta maaf sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang dirugikan oleh penulis akibat ucapan maupun perbuatan penulis yang kurang berkenan secara langsung maupun tidak langsung.

Yogyakarta, 03 Juli 2024

Andi Tegar Virgie Sinensis

ABSTRAK

ANDI TEGAR VIRGIE SINENSIS. Pengaruh Sampah Organik Pasar dan Restoran terhadap Kandungan Logam Berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada Maggot *Black Soldier Fly* (BSF). Dibimbing oleh Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

Peningkatan volume sampah organik global menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia, keanekaragaman hayati, dan ekosistem. Sampah organik dari pasar dan restoran, yang terdiri dari sisa makanan dan material biologis lainnya, dapat menjadi sumber kontaminasi logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), besi (Fe), dan kromium (Cr). Akumulasi logam berat dalam rantai biologis dapat berdampak negatif pada organisme, termasuk pada larva black soldier fly (BSF) atau maggot, yang saat ini digunakan sebagai solusi pengelolaan sampah organik dan sumber protein alternatif. Namun, masih sedikit penelitian yang berfokus pada dampak akumulasi logam berat terhadap pertumbuhan dan kandungan logam dalam maggot BSF. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kandungan logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada maggot BSF yang diberi pakan sampah organik pasar dan sampah organik restoran serta mengetahui pengaruh logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) terhadap siklus pertumbuhan (berat) maggot BSF pada setiap fase. Pakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah organik pasar (sayur dan buah), sampah organik restoran dan dedak padi sebagai pakan kontrol. Hasil analisis yang telah dilakukan, kandungan logam Pb pada maggot BSF (dari hari ke 0 – hari ke 21) mengalami penurunan secara signifikan, sedangkan untuk kandungan logam Fe mengalami hasil yang fluktuatif dari hari ke-0 sampai hari ke-21. Selain itu, parameter Cd dan Cr tidak terdeteksi adanya kandungan logam berat kecuali pada hari ke-10 di reaktor sampah pasar. Adanya kandungan logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) tidak mempengaruhi siklus pertumbuhan maggot BSF khususnya pada berat karena kadar logam yang diakumulasi maggot BSF masih berada dikategori rendah.

Kata kunci : Maggot BSF, Sampah Organik, Logam Berat

ABSTRACT

ANDI TEGAR VIRGIE SINENSIS. The Effect of Market Organic Waste and Restaurant on Heavy Metal Content (Pb, Cd, Fe, Cr) in Black Soldier Fly (BSF) Maggots. Supervised by Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

The increasing volume of organic waste globally poses a serious threat to human health, biodiversity, and ecosystems. Organic waste from markets and restaurants, consisting of food scraps and other biological materials, can become a source of heavy metal contamination, including lead (Pb), cadmium (Cd), iron (Fe), and chromium (Cr). The accumulation of heavy metals in biological chains can negatively impact organisms, including the larvae of the black soldier fly (BSF) or maggot, which are currently used as a solution for organic waste management and an alternative protein source. However, limited research has focused on the impact of heavy metal accumulation on the growth and metal content of BSF maggots. This research aims to determine the levels of heavy metals (Pb, Cd, Fe, Cr) in BSF maggots fed with organic market waste and organic restaurant waste, as well as to assess the effects of heavy metals (Pb, Cd, Fe, Cr) on the growth cycle (length and weight) of BSF maggots at each phase. The feed used in this study was organic market waste (vegetables and fruits), organic restaurant waste, and rice bran as a control feed. According to the analysis, the lead (Pb) content in BSF maggots (from day 0 to day 21) decreased significantly, while the iron (Fe) content fluctuated from day 0 to day 21. Additionally, cadmium (Cd) and chromium (Cr) were not detected, except on day 10 in the market waste reactor. The presence of heavy metals (Pb, Cd, Fe, Cr) did not affect the growth cycle of BSF maggots, particularly in terms of length and weight, because the levels of metals accumulated by BSF maggots were still categorized as low.

***Keywords**: BSF Maggot, Organic Waste, Heavy Metals*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ..... **ii**

PRAKATA ..... **v**

ABSTRAK ..... **vii**

ABSTRACT ..... **viii**

DAFTAR ISI ..... **ix**

DAFTAR GAMBAR ..... **xii**

DAFTAR TABEL ..... **xiii**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.6 Ruang Lingkup 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**

2.1 Pengertian Sampah dan Jenis Sampah 5

2.2 *Black Soldier Fly* (BSF) 6

2.3 Aquaponik 9

2.4 Logam Berat 9

2.4.1 Kadmium (Cd) 9

2.4.2 Timbal (Pb) 9

2.4.3 Besi (Fe) 10

2.4.4 Kromium (Cr) 10

2.5 Penelitian Terdahulu 10

BAB III METODE PENELITIAN 14

3.1 Waktu dan Lokasi 14

3.2 Diagram Alir Penelitian 15

3.3 Alat dan Bahan 16

3.3.1 Alat 16

3.3.2 Bahan 16

3.4 Tahapan Penelitian 17

3.4.1 Desain Reaktor Aquaponik 17

3.4.2 Perlakuan Sampel 18

3.4.3 Pengambilan Sampel 19

3.4.4 Destruksi Sampel Maggot BSF dan Sampah Organik 21

3.4.5 Pembuatan Larutan Standar 23

3.5 Analisis Data 24

3.5.1 Kadar Logam Berat pada Maggot BSF dan Sampah Pakan Maggot ... 24

3.5.2 Bioakumulasi Logam Berat pada Maggot BSF 25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 26

4.1 Kadar Logam Berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi (Kontrol) 26

4.1.1 Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi (Kontrol) 26

4.1.2 Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi (Kontrol) 28

4.1.3 Kadar Logam Berat Besi (Fe) pada Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi (Kontrol) 30

4.1.4 Kadar Logam Berat Kromium (Cr) pada Sampel Sampah Organik 32

4.2 Kadar Logam Berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada Sampel Maggot *Black Soldier Fly* (BSF) 33

4.2.1 Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Maggot *Black Soldier Fly* (BSF) 33
4.2.2 Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Maggot *Black Soldier Fly* (BSF) 35
4.2.3 Kadar Logam Berat Besi (Fe) pada Maggot *Black Soldier Fly* (BSF) 36
4.2.4 Kadar Logam Berat Kromium (Cr) pada Maggot *Black Soldier Fly* (BSF) 38
4.3 Nilai Bioakumulasi Faktor (BAF) pada Maggot BSF 39
4.4 Pengaruh Logam Berat Terhadap Siklus Pertumbuhan (berat) pada Maggot BSF 41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 43
5.1 Kesimpulan 43
5.2 Saran 44
DAFTAR PUSTAKA 45
LAMPIRAN 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Berpikir Penelitian 2
Gambar 2.1 Siklus Hidup Black Soldier Fly 7
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian 14
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian 15
Gambar 3.3 Desain Reaktor Akuaponik 17
Gambar 3.4 Perlakuan Sampel 18
Gambar 3.5 Tahapan Pengambilan Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi 19
Gambar 3.6 Tahapan Pengambilan Sampel Maggot BSF 20
Gambar 3.7 Tahapan Destruksi Sampel Maggot BSF dan Sampah Organik 22
Gambar 3.8 Tahapan Analisis Data 24
Gambar 4.1 Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Pakan Maggot BSF 27
Gambar 4.2 Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Pakan Maggot BSF 29
Gambar 4.3 Kadar Logam Berat Besi (Fe) pada Pakan Maggot BSF 31
Gambar 4.4 Kadar Logam Berat Kromium (Cr) pada Pakan Maggot BSF 32
Gambar 4.5 Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Maggot BSF 34
Gambar 4.6 Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Maggot BSF 35
Gambar 4.7 Kadar Logam Berat Besi (Fe) pada Maggot BSF 37
Gambar 4.8 Kadar Logam Berat Kromium (Cr) pada Maggot BSF 38

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 10
Tabel 4.1 Nilai Bioakumulasi Faktor (BAF) pada Setiap Fase Pertumbuhan Maggot BSF..... 39
Tabel 4.2 Berat Maggot BSF di setiap Reaktor 41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran.1 Hasil Uji Logam Pb, Logam Cd, Logam Fe dan Logam Cr..... 49
Lampiran.2 Dokumentasi Penelitian..... 56

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

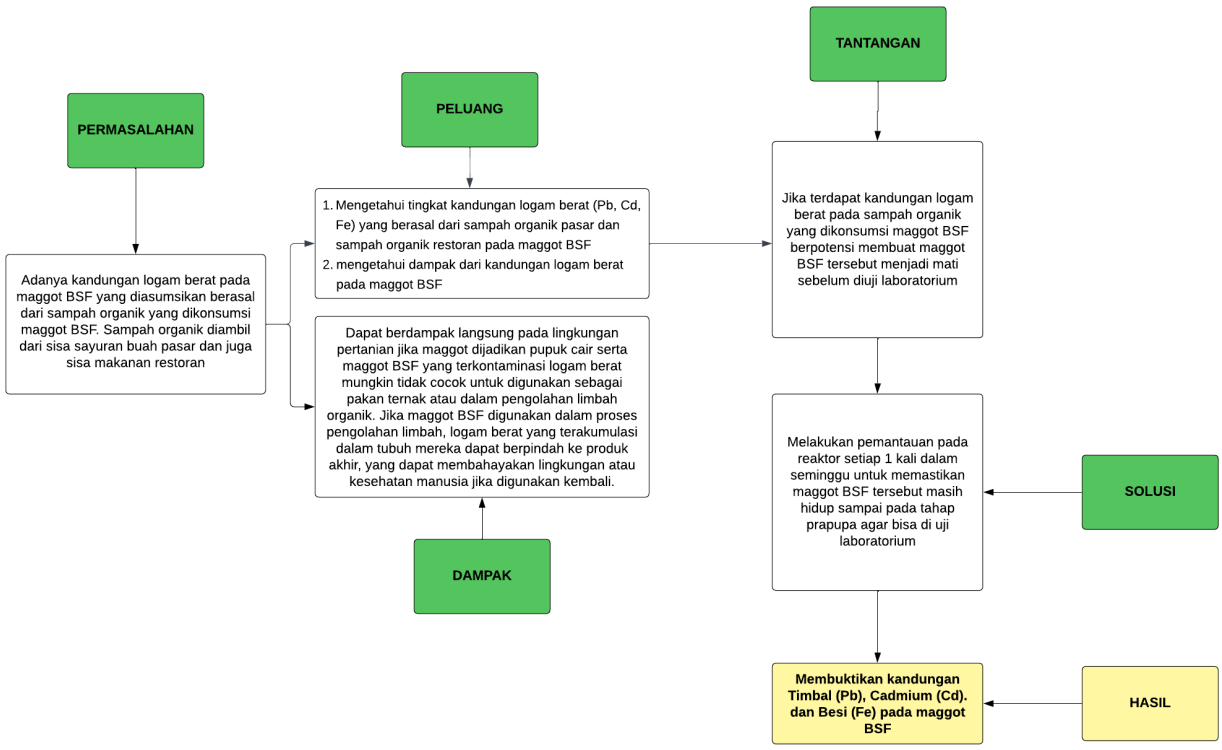
Peningkatan volume sampah organik yang dihasilkan secara global dianggap sebagai ancaman yang baru muncul, tidak hanya bagi kesehatan manusia tetapi juga terhadap keanekaragaman hayati dan ekosistem. Masalah lingkungan yang terkait dengan jumlah limbah yang besar ini mencakup kontaminasi air, udara, dan tanah dan juga dapat menjadi jalur penyebaran patogen (Pendeta et al.,2015). Selain itu, limbah makanan diketahui menyebabkan dampak buruk terhadap lingkungan karena gas metana yang dihasilkan dari tempat pembuangan sampah (TPA) (FAO, 2014).

Sampah organik yang terdiri dari sisa makanan, dedaunan, dan material biologis lainnya merupakan salah satu jenis limbah yang paling sering dihasilkan oleh rumah tangga dan industri pertanian. Meskipun biasanya dianggap tidak berbahaya, sampah organik dapat menjadi sumber pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu masalah utama yang muncul adalah kontaminasi logam berat. Logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan arsenik (As) dapat masuk ke dalam siklus biologis dan menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan ekosistem. Sampah organik biasanya diolah melalui metode penimbunan, pengomposan, atau pembakaran (Kim et al.,2021).

Di banyak negara berpendapatan rendah dan menengah, jumlah sampah organik dapat dikurangi secara signifikan dengan memanfaatkan maggot *black soldier fly* (BSF) yang tidak dianggap sebagai hama (Diener et al., 2015). BSF atau yang dikenal sebagai maggot, mampu mengurai sampah organik secara efisien dan cepat. Selain itu, maggot BSF memiliki potensi sebagai sumber protein alternatif yang berharga untuk pakan ternak dan ikan. Namun, pemanfaatan maggot BSF sebagai pakan memerlukan pemahaman mendalam tentang bagaimana logam berat dalam sampah organik mempengaruhi pertumbuhan dan kandungan logam dalam maggot tersebut (Siddiqui et al., 2022).

Beberapa penelitian telah mengungkapkan bahwa logam berat seperti timbal dan kadmium dapat mengganggu proses fisiologis pada serangga, termasuk larva lalat tentara hitam (BSF). Sebagai contoh, studi oleh (Smith et al., 2019) menemukan bahwa tingginya konsentrasi logam berat dapat mengurangi laju pertumbuhan dan meningkatkan tingkat kematian pada larva BSF. Namun, masih ada sedikit penelitian yang berfokus pada dampak spesifik dari konsentrasi logam berat pada berbagai tahap pertumbuhan larva BSF, seperti berat tubuh.

Berdasarkan pernyataan di atas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh konsentrasi logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada sampah organik pasar dan sampah organik restoran terhadap siklus pertumbuhan maggot BSF. Oleh karena itu, penelitian mengenai kandungan logam berat dalam tubuh maggot BSF menjadi relevan dan penting.



Gambar 1.1 *Kerangka Berpikir Penelitian*

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari latar belakang penelitian, yaitu:

1) Berapa tingkat kandungan logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada maggot BSF yang diberi pakan sampah organik pasar dan sampah organik restoran?
2) Apakah kandungan logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) mempengaruhi siklus pertumbuhan (berat) maggot BSF pada setiap fase?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain, yaitu:

1) mengetahui tingkat kandungan logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada maggot BSF yang diberi pakan sampah organik pasar dan sampah organik restoran;
2) mengetahui pengaruh logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) terhadap siklus pertumbuhan (berat) maggot BSF pada setiap fase

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain, yaitu:

1) Dalam bidang akademik, penelitian ini bermanfaat untuk menguji seberapa tinggi kandungan logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) yang ada pada maggot BSF dari sampah organik pasar dan sampah organik restoran dan juga membuktikan jenis pakan yang paling berkualitas pada maggot BSF;
2) Dalam bidang kemasyarakatan, bermanfaat untuk pengetahuan bagi para peternak atau budidaya maggot BSF untuk memilih jenis pakan yang berkualitas dan memilik kandungan logam berat paling rendah.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian yang dilakukan, yaitu:

1) Penelitian ini berlokasi di Kebun Benar Benih yang tepatnya berada di Sleman, Yogyakarta
2) Objek penelitian adalah maggot *Black Soldier Fly* (BSF)
3) Budidaya maggot *Black Soldier Fly* (BSF) ini terintegrasi dengan reaktor aquaponik
4) Sumber sampah yang digunakan berasal dari pasar (sayuran dan buah) dan restoran (sisa makanan)

5) Parameter yang diamati selama penelitian adalah kandungan logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada *Black Soldier Fly* (BSF)
6) Pengambilan data dilakukan selama 21 hari pada tanggal 14 Mei sampai 3 Juni 2024

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sampah dan Jenis Sampah

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mendefinisikan sampah sebagai sesuatu yang tidak digunakan atau dibuang yang tidak terjadi secara alami karena tindakan manusia (Dobiki, 2018). Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah juga menjelaskan bahwa sampah sebagai sisa dari proses alam atau kegiatan sehari-hari manusia yang berbentuk padat. Dengan demikian, jelas bahwa sampah adalah salah satu masalah yang terus dibahas karena manusia selalu menghasilkan sampah. Jenis sampah yang dihasilkan oleh manusia sangat bervariasi, tergantung pada sumbernya dan proses pembentukannya. Berikut merupakan pembagian jenis sampah berdasarkan UU No.18 Tahun 2008:

a) Sampah Organik

   Sampah organik adalah jenis sampah yang terdiri dari bahan-bahan yang berasal dari sisa organisme hidup, seperti sisa makanan, dedaunan, dan limbah pertanian. Sampah organik mudah terurai secara alami oleh mikroorganisme, menghasilkan gas metana selama proses dekomposisi, dan mengandung nutrisi seperti nitrogen dan fosfor. Produksi gas metana mencemari udara, meningkatkan populasi hama yang dapat mengakibatkan kerugian ekonomi, dan penyebaran penyakit dan infeksi jika tidak dikelola dengan baik adalah beberapa dampak sampah organik terhadap lingkungan dan kesehatan.

b) Sampah Anorganik

   Sampah anorganik terdiri dari bahan non-organik seperti plastik, kertas, logam, kaca, keramik, dan sebagainya yang sulit terurai secara alami dan membutuhkan metode daur ulang atau pengolahan khusus. Plastik, kertas, logam, kaca, keramik, dan sebagainya adalah contoh sampah anorganik karena tidak terurai secara alami, tidak mengandung nutrisi, dan tahan terhadap kerusakan fisik dan kimia. Pencemaran tanah dan air, kehilangan sumber daya alam, dan pencemaran visual yang mengganggu

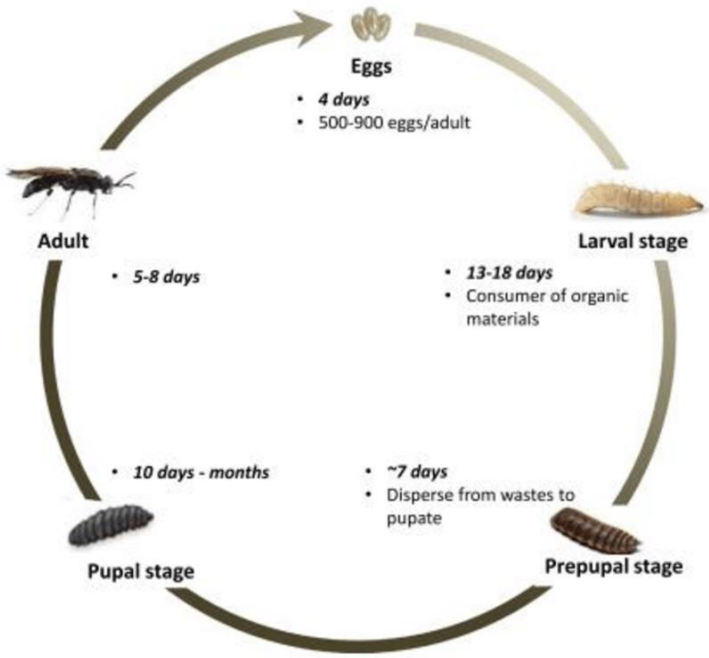
keindahan lingkungan adalah beberapa dampak sampah anorganik terhadap lingkungan dan kesehatan.

c) Sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Sampah B3 adalah limbah yang berasal dari bahan-bahan berbahaya dan beracun yang tidak dapat dibuang begitu saja ke lingkungan karena memiliki efek yang sangat berbahaya bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Jenis limbah ini biasanya berasal dari limbah rumah sakit, pabrik, dan sumber lain.

2.2 *Black Soldier Fly* (BSF)

Lalat BSF (*Hermetia illucens*, masuk golongan ordo diptera: *Stratiomyidae*) adalah salah satu insekta (serangga) yang karakteristik dan kandungan nutriennya sedang dipelajari sebagai alternatif pakan ternak. Lalat ini berasal dari Amerika dan kemudian menyebar ke daerah tropis dan subtropis di seluruh dunia. Siklus hidupnya mirip dengan serangga diptera lainnya: telur menetas, larva, metamorposa, dan pupa dan serangga dewasa (Fahmi, 2015). Siklus metamorfosis BSF berlangsung selama lebih dari empat puluh hari (± empat puluh hari), dan dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban lingkungan serta asupan nutrisi yang dimakan (Taethaisong et al., 2022). Tahap akhir atau yang biasa disebut pra pupa, dapat bermigrasi sendiri dari media tumbuhnya untuk membuat panen lebih mudah.



Gambar 2.1 *Siklus Hidup Black Soldier Fly*

Sumber: (Purnamasari et al., 2021)

Siklus hidup lalat BSF terdiri dari empat tahap, yaitu telur, larva, pupa, dan lalat dewasa (Popa dan Green, 2012). Siklus hidup BSF berlangsung selama empat puluh hari, mulai dari penetasan hingga kematian, dan kondisi lingkungan dan jumlah makanan yang tersedia (Taethaisong et al., 2022).

a) Telur

Lalat betina *Black Soldier Fly* mengeluarkan sekitar 300-500 butir telur setiap kali bertelur. Telurnya diletakkan di lubang gelap atau celah di atas atau di sekitar material yang sudah membusuk, seperti sampah, kotoran, atau sayuran busuk. Telur tentara hitam berukuran sekitar 0.04 inci, atau kurang dari 1 mm, dan beratnya 1-2 μg, dan berbentuk oval dan berwarna kuning (Sheppard et al., 2002).

b) Larva

Setelah menetas dari telur berukuran sangat kecil, *larva Black Soldier Fly* bersifat photofobia. Mereka hidup dengan baik pada suhu 28–35 derajat Celcius dan kelembaban sekitar 60–70% sepanjang waktu

(Holmes et al., 2012).Selama pertumbuhannya, larva *Black Soldier Fly* mengalami lima fase pergantian kulit, yang dimulai dengan warna putih krem dan berakhir dengan warna coklat kehitaman (Popa & Green, 2012).

c) Pra Pupa

Larva yang sudah memasuki fase pra pupa akan melihat warna maggot berubah dari krem menjadi coklat kehitaman, dan mereka akan bermigrasi ke tempat yang lebih kering. Pada tahap ini, maggot akan mengurangi porsi makannya untuk meningkatkan pertumbuhan bagian tubuh yang lalat (Sheppard et al., 2002).

d) Pupa

Pada tahap ini, larva berubah menjadi pupa. Beberapa ciri-ciri larva menuju tahap ini adalah sebagai berikut:

- Kulit telah berganti hingga instar keenam, yang berwarna cokelat kehitaman dengan tekstur sedikit kasar.
- Prepupa mencari tempat yang lebih kering dan gelap untuk berubah menjadi kepompong dan bersifat pasif.
- Ukuran pupa adalah sekitar 2/3 (dua per tiga) dari ukuran prepupa.

Perubahan dari pupa menjadi lalat dewasa berlangsung selama sepuluh hari atau bahkan beberapa bulan tergantung pada kondisi lingkungan (Sheppard et al., 2002).

e) Lalat Dewasa

Black Soldier Fly dewasa berwarna hitam, memiliki kaki berwarna putih di bagian bawah, dan memiliki panjang tubuh 12–20 mm dan rentang sayap 8-14 mm. Mereka juga memiliki antena, yang terdiri dari tiga antena segmen yang panjangnya dua kali lebih dari kepalanya. Lalat tentara Hitam dewasa berumur singkat, kira-kira empat hingga delapan hari, dan hanya berfungsi untuk reproduksi. Setelah berumur dua hari, lalat dewasa dapat kawin. (Sheppard et al., 2002)

2.3 Aquaponik

Salah satu bagian dari pendekatan pertanian yang lebih luas yang dikenal sebagai sistem agribudaya terpadu (IAAS), akuaponik adalah teknik bercocok tanam yang menggabungkan akuakultur dan hidroponik. Tujuannya adalah untuk memelihara tanaman dan ikan dalam sistem yang saling terhubung dan tersirkulasi. Sistem aquaponik memiliki kelebihan karena dapat menggunakan kotoran ikan sebagai sumber pupuk organik yang baik untuk pertumbuhan tanaman. Produk yang dihasilkan hanya menggunakan pupuk dari kotoran ikan yang telah melalui proses biologis (Graber & Junge, 2009). Sayuran adalah tanaman yang paling umum digunakan dalam aquaponik. Tanaman akuaponik sangat cocok digunakan jika mempunyai kemampuan dalam menyerap nutri yang larut dalam air (Savidov, 2004). Selain itu, tanaman akuaponik adalah sumber serat, vitamin, dan mineral yang sangat bermanfaat bagi tubuh dan kesehatan manusia (Aswanti et al., 2008).

2.4 Logam Berat

Menurut *United States Environmental Protection Agency* (2021), logam berat adalah kelompok logam dengan massa jenis yang tinggi dan memiliki sifat kimia yang berat. Sifat-sifat ini sering kali membuatnya beracun bagi organisme hidup ketika terakumulasi dalam jumlah yang berlebihan.

2.4.1 Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan salah satu jenis logam berat yang mempunyai bentuk kristal putih keperakan. Kadmium sangat toksik bagi tubuh manusia sehingga dapat menyebabkan gejala *gasterointestial* serta penyakit ginjal.

2.4.2 Timbal (Pb)

Timbal atau biasa disebut plumbum adalah logam berat yang berwarna kehitaman yang dulunya digunakan dalam kontituen dalam cat, namun saat ini banyak digunakan dalam bahan bensin. Timbal juga sangat toksik ditubuh manusia sehingga dapat menyebabkan rasa logam dimulut jika tidak sengaja dikonsumsi, munculnya garis hitam di gusi, dan dapat menyebabkan kelumpuhan.

2.4.3 Besi (Fe)

Logam berat besi adalah logam berat yang keberadaannya dibutuhkan oleh organisme hidup (dalam jumlah tertentu), namun ketika jumlahnya berlebih dapat menyebabkan efek negatif. Kandungan besi yang berlebih dapat menyebabkan kerusakan pada usus, muntah-muntah, bahkan dapat menyebabkan kematian. (Parulian, 2009)

2.4.4 Kromium (Cr)

Kromium adalah elemen yang alamiahnya hadir dalam kadar rendah dalam batuan, hewan, tanah, debu, dan gas. Di alam, logam murni kromium tidak pernah ditemukan; sebaliknya, biasanya ditemukan dalam bentuk senyawa padat atau mineral yang mengandung unsur-unsur lainnya (Mukaromah, 2008). Sebagai logam transisi, kromium memiliki massa atom sebesar 51,996 gram/mol, nomor atom 24, titik lebur 1907°C, dan massa jenis 7,19 g/cm^3 (Callister, 2007).

2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 *Penelitian Terdahulu*

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	S. Diener et al., 2015	*Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, Hermetia illucens and effects on its life cycle*	Di negara-negara berkembang, manajemen limbah terbatas oleh biaya tinggi dan kurangnya opsi pengolahan. Fraksi organik, yang mencapai lebih dari 50% total sampah, bisa digunakan kembali. Teknologi menggunakan larva lalat tentara hitam untuk mengubah limbah organik menjadi pakan hewan. Namun, limbah organik mengandung polutan persisten seperti logam berat yang bisa terakumulasi dalam larva, berpotensi masuk ke dalam rantai makanan. Penelitian ini memeriksa akumulasi logam berat dalam larva yang diberi pakan yang terkontaminasi serta efeknya pada siklus hidup lalat.

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
2	Francis Attiogbe et al., 2019	*Effectiveness of black soldier fly larvae in composting mercury contaminated organic waste*	Larva lalat tentara hitam adalah teknologi kompos baru yang efektif di negara berkembang. Mereka mampu memakan limbah makanan dalam jumlah besar dan membersihkan kompos dari zat beracun. Penelitian ini mengevaluasi kemampuan larva dalam mengompos limbah organik yang mengandung logam berat, terutama merkuri. Hasilnya menunjukkan bahwa larva mampu menghilangkan merkuri dari kompos, dan kompos tersebut kaya akan nutrisi yang baik untuk tanaman.
3	T. Li et al., 2024	*Reducing the mass and decreasing the bioavailability of heavy mental from organic wastes treated by black soldier fly larvae*	Penelitian ini mengevaluasi penggunaan larva lalat tentara hitam (BSFL) dalam mengolah berbagai limbah pertanian dan bagaimana mereka menangani logam berat selama proses tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa BSFL efektif mengurangi limbah, dengan beberapa logam berat seperti seng dan kobalt tidak terakumulasi dalam tubuh larva. Analisis genetik dan mikroba dalam usus BSFL menunjukkan adanya resistensi terhadap logam berat, serta partikel koloid limbah memiliki kemampuan menangkap logam berat. Temuan ini menyediakan metode ramah lingkungan untuk mengelola limbah pertanian dan mengurangi polusi logam berat.

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
4	F. Ardiansyah et al., 2021	*Use of Water Hyacinth and Fermented Fruit Waste as BSF (Black Soldier Fly) Media on The Quality of BSF Maggot Flour*	Penelitian ini mengevaluasi kualitas tepung dari larva lalat tentara hitam (BSF) yang diberi makanan dari eceng gondok dan limbah buah yang difermentasi menggunakan EM-4 dan tetes tebu. Larva BSF diberi makan selama 15 hari dengan kombinasi eceng gondok dan limbah buah dalam proporsi berbeda. Hasil menunjukkan bahwa proporsi 75% limbah buah dan 25% eceng gondok terfermentasi memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas tepung larva BSF, dengan kadar protein kasar mencapai 35.5% dan energi metabolisme sebesar 2939.64 kcal/kg.
5	Puspitasari D et al., 2020	Pemanfaatan Lahan Pekarangan Dengan Sistem Aquaponik Dalam Menunjang Perekonomian Di Desa Sungai Lama, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara	Sistem aquaponik sering dipergunakan sebagai sistem produksi pangan berkelanjutan bagi masyarkat pedesaan. Tujuan pengabdian ini adalah untuk memberikan pandangan mengenai pemanfaatan akuaponik dengan memanfaatkan lahan pekarangan. Pengabdian ini dilakukan pada 30 November 2019 di Desa Sungai Lama, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara. Metode yang digunakan dalam pengabdian ini dengan Forum Group Disccusion yaitu masyarakat diberikan pemahaman mengenai akuaponik, setelah itu dilakukan diskusi dan praktek pembuatan langsung. Hasil pengabdian ini adalah masyarakat mengetahui proses pembuatan akuaponik dan kelebihan dari sistem akuaponik. Akuaponik merupakan sistem yang menggabungkan budidaya tanaman dan budidaya ikan.

Letak perbedaan penelitian ini dengan 5 penelitian terdahulu diatas hanya berada pada perlakuan terhadap maggot BSF. Penelitian ini menggunakan reaktor

yang di integrasikan pada aquaponik serta pakan yang dikonsumsi maggot berasal dari sampah restoran yang berada disekitar lokasi penelitian serta sampah pasar. Sedangkan dari penelitian terdahulu menggunakan pakan yang sudah dicampur dengan bahan yang mengandung logam berat tetapi dengan konsentrasi yang rendah.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini mencakup beberapa serangkaian langkah-langkah yang dilakukan selama berlangsungnya proses penelitian. Dengan fokus pada metodologi penelitian, dapat diharapkan penelitian ini dapat dilakukan secara terstruktur dan minim kesalahan. Fokus dari penelitian ini yaitu identifikasi kandungan logam berat yaitu Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Besi (Fe) dan Kromium (Cr) pada maggot BSF. Pengumpulan data dilakukan dengan cara penelitian secara langsung menggunakan alternatif aquaponik yang diintegrasikan dengan maggot BSF.

3.1 Waktu dan Lokasi

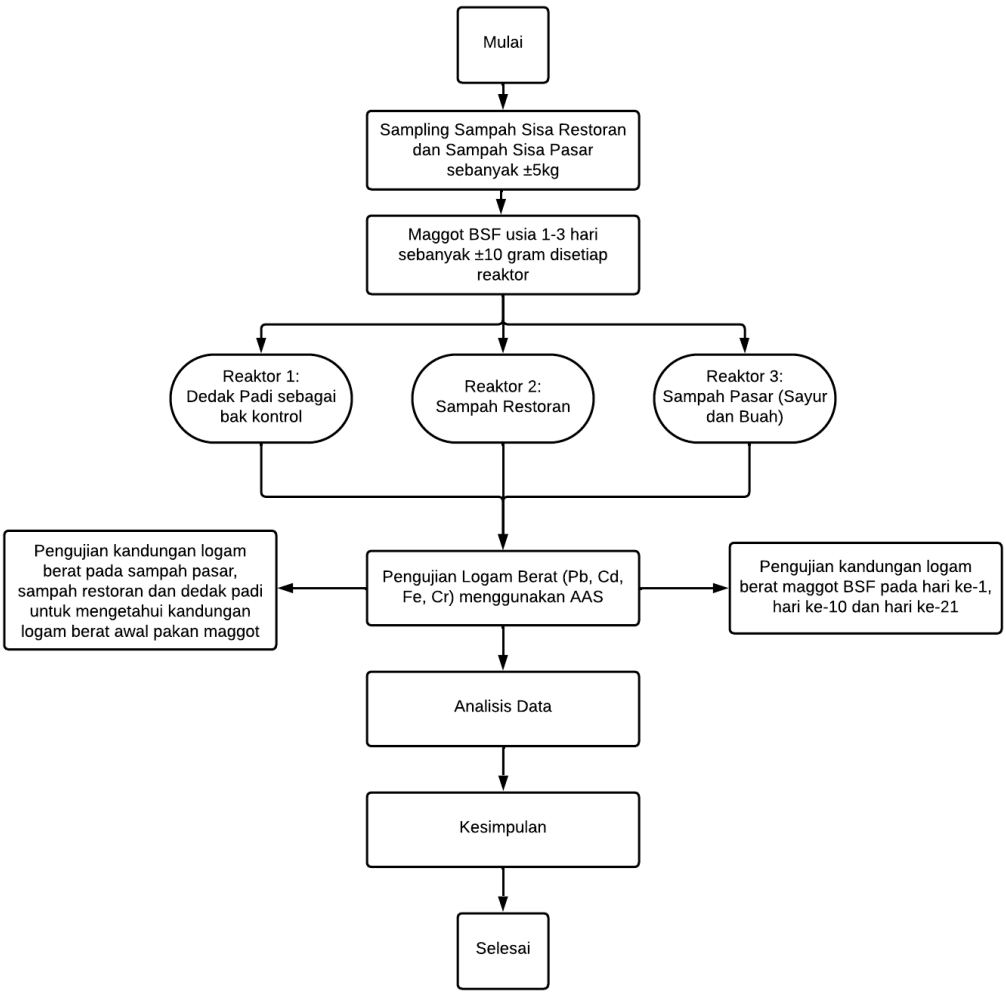
Penelitian ini berlokasi di Benar Benih, Desa Ngemplak, Kelurahan Umbulmartani, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman, Provinsi D.I Yogyakata. Penelitian ini akan dilakukan selama kurun waktu 1 bulan yaitu pada bulan April 2024 sampai dengan bulan Mei 2024. Pada gambar 3.1 berikut merupakan peta lokasi penelitian yang terletak di Benar Benih



Gambar 3.1 *Lokasi Penelitian*

3.2 Diagram Alir Penelitian

Penentuan tahapan diagram alir pada penelitian ini memiliki tujuan sebagai penggambaran proses yang akan dilaksanakan selama proses penelitian ini berlangsung. Tahap pertama pada proses penelitian ini yaitu, perumusan masalah, menentukan tujuan dan lingkup penelitian, mencari kajian pustaka, pengambilan data penelitian, kemudian proses yang terakhir yaitu analisis data dan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil yang didapat. Adapun tahapan proses penelitian ini dalam bentuk bagan alir dijelaskan pada gambar 3.2 yaitu, sebagai berikut:



Gambar 3.2 *Diagram Alir Penelitian*

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Reaktor Hidroponik yang terintegrasi dengan Maggot BSF
2. *Atomic Absorption Spectrofotometer* (AAS)
3. Kaca Arloji
4. Mortar dan Alu
5. Timbangan Analitik dengan keterbacaan 0,01 g
6. Timbangan Analitik dengan keterbacaan 0,1 mg
7. *Hot Plate*
8. Cawan Porselen
9. Spatula
10. Erlenmeyer
11. Gelas Ukur
12. Pipet Ukur
13. Pipet Volumetrik
14. Gelas Beaker
15. Labu Ukur 100 mL dan 1000 mL
16. Kertas Saring Whattman 40
17. Plastik Ziplock

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Sampel Maggot BSF
2. Aquades
3. Larutan Asam Nitrat (HNO3)
4. Larutan Standar Logam Pb, Cd, Fe dan Cr
5. Dedak Padi

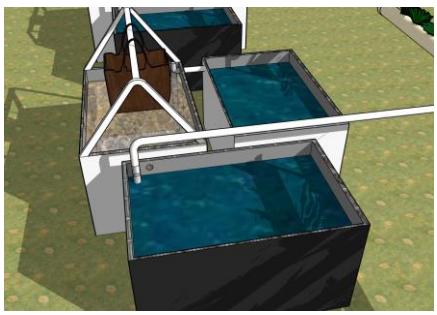
3.4 Tahapan Penelitian

3.4.1 Desain Reaktor Aquaponik

Pada penelitian ini menggunakan 3 bak alat integrasi akuaponik dan kantong reaktor maggot BSF. Kantong reaktor maggot BSF ini berjumlah 3 buah dan berisi sampah organik pasar, sampah organik restoran dan dedak padi sebagai pakan kontrol. Air yang berada di bak utama (bak berwarna hitam) diambil dari air sumur dan akan di alirkan menuju ke bak depan kemudian mengalir ke bak yang belakang dan naik ke pipa sayuran. Air tersebut akan berputar selama 24 jam. Gambar (a) menunjukkan detail mengenai kantong maggot yang berada di reaktor aquaponik dan memiliki volume sebesar 50 liter. Gambar (b) menunjukkan detail bak aquaponik yang berjumlah tiga dengan volume sebesar 0,2 m^3 dengan panjang 0,8 m dan tinggi 0,5 m, pipa yang digunakan berukuran ¾ inch dan gambar (c) menunjukkan keseluruhan reaktor aquaponik.



(a)



(b)

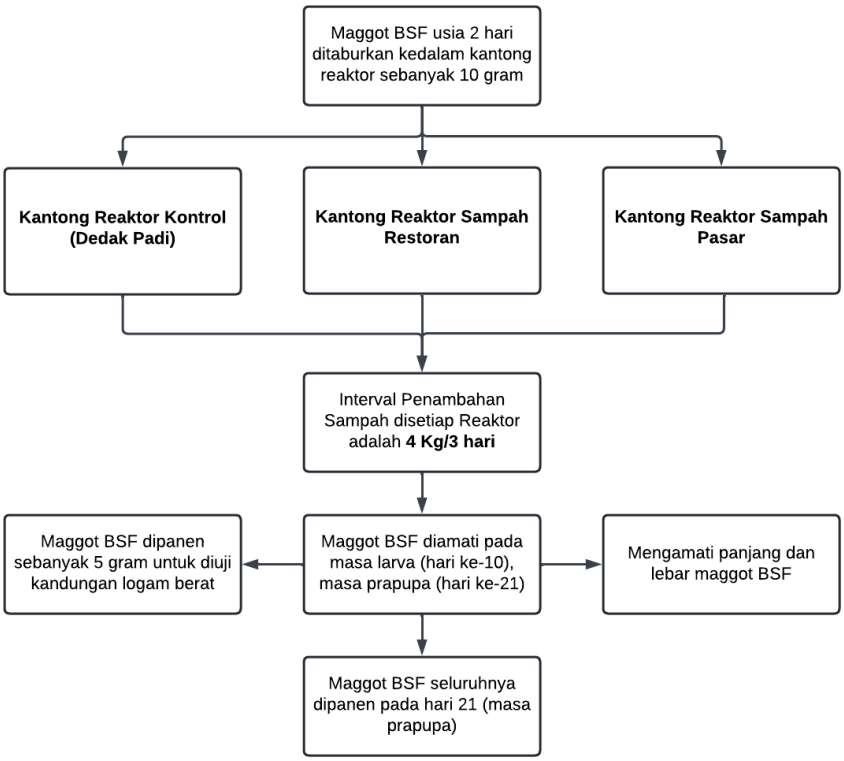


(c)

Gambar 3.3 *Desain Reaktor Akuaponik*

3.4.2 Perlakuan Sampel

Budidaya maggot BSF dimulai dari fase maggot bayi (hari ke-2 setelah menetas), dimana maggot bayi langsung dimasukkan ke dalam kantong reaktor hidroponik (sampah pasar, sampah restoran dan dedak padi) dengan cara menaburkannya di atas tumpukan sampah. Sampah pasar diambil di pasar Pakem, Sleman, D.I Yogyakarta dan sampah restoran diambil disekitar lokasi penelitian (Sekitar Kampus Terpadu UII). Proporsi maggot dan sampah yang digunakan adalah 5 gram untuk setiap ±5 kilogram sampah organik basah. Kemudian, dibiarkan selama sekitar 3 minggu, interval penambahan sampah disetiap kantong reaktor adalah ±4 kg setiap 3 hari sampai maggot BSF berada di tahap prapupa (hari ke-21). Kemudian pada tahap prapupa (hari ke-21) maggot dipanen seluruhnya dari reaktor.

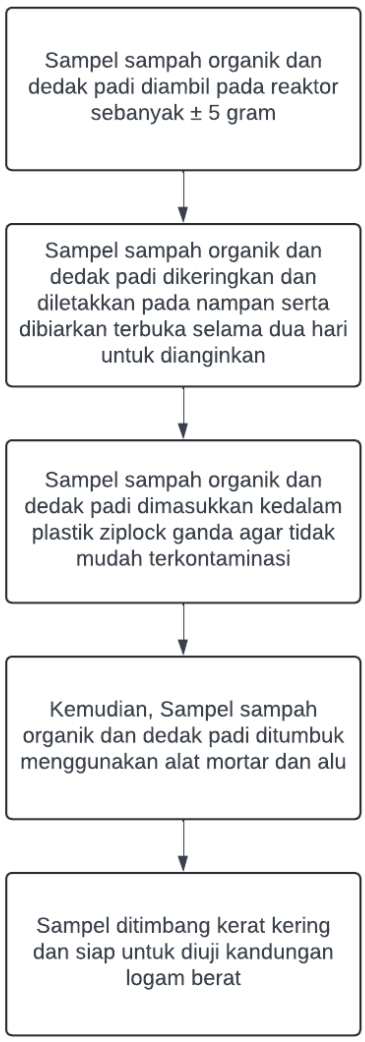


Gambar 3.4 *Perlakuan Sampel*

3.4.3 Pengambilan Sampel

1. Sampel Sampah Organik

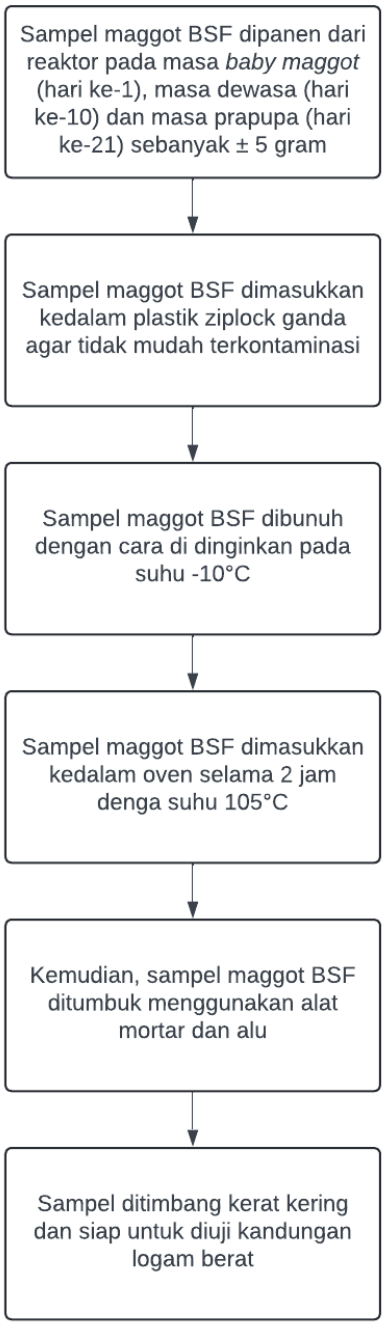
   Sampah organik yang digunakan adalah sampah sayur buah yang diambil di Pasar Pakem dan juga sampah sisa makanan di beberapa restoran sekitar lokasi penelitian. Sampel sampah yang akan diuji di laboratorium dimasukkan ke dalam plastik ziplock sebanyak ±5 gram.



Gambar 3.5 *Tahapan Pengambilan Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi*

2. Sampel Maggot BSF

Sampel maggot BSF diambil pada hari ke-0, ke-10 dan hari ke-21 sebanyak ±5 gram dari setiap kantong reaktor untuk diuji laboratorium untuk mengetahui kandungan logam beratnya.



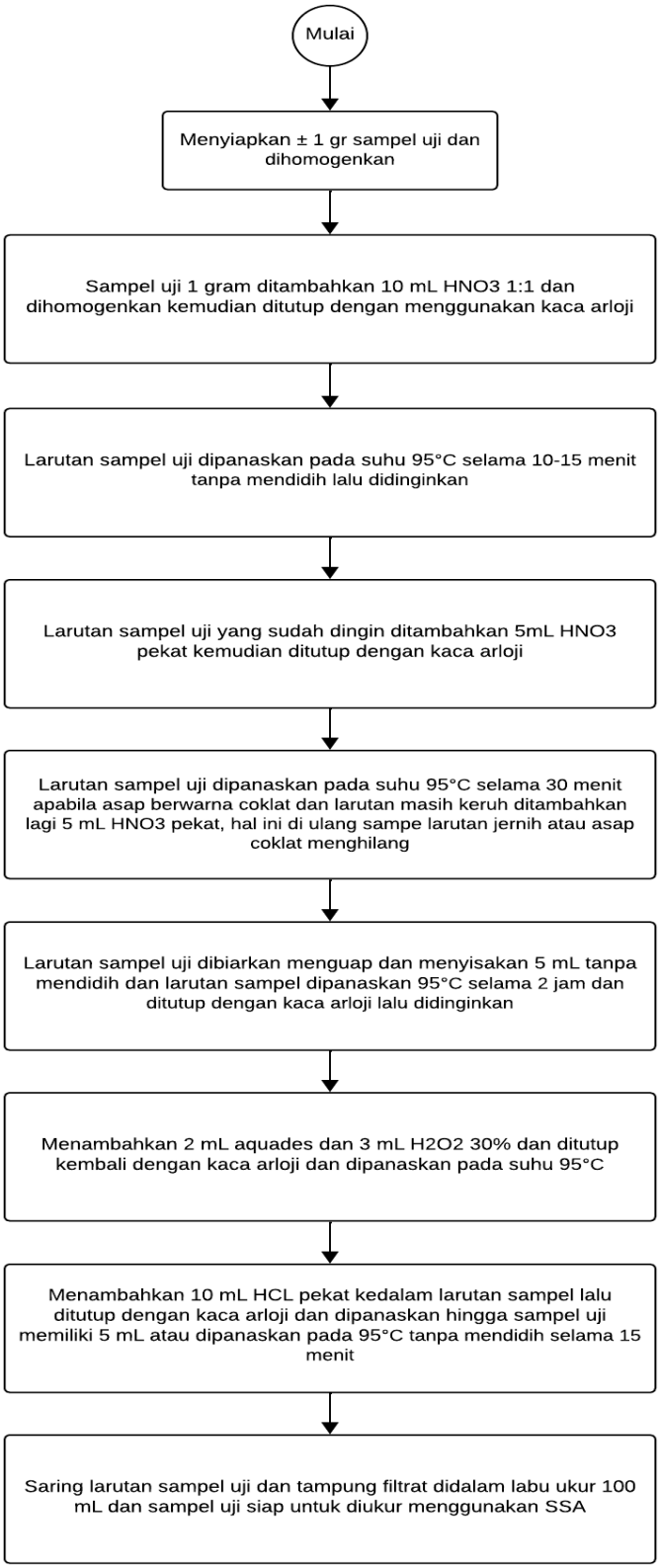
Gambar 3.6 *Tahapan Pengambilan Sampel Maggot BSF*

3. Sampel Kontrol

   Sampel kontrol yang digunakan adalah dedak padi sebagai pakan maggot BSF. Sampel kontrol dalam penelitian ini digunakan untuk memberikan dasar perbandingan yang stabil dan konsisten bagi kelompok perlakuan lainnya.

3.4.4 Destruksi Sampel Maggot BSF dan Sampah Organik

Destruksi adalah proses yang mengubah sampel menjadi bentuk materi yang dapat diukur, memungkinkan unsur-unsur di dalamnya untuk dianalisis. Destruksi juga dapat dikatakan perombakan hal ini dikarenakan mengubah bentuk organik logam menjadi bentuk logam-logam anorganik. Sesuai dengan SNI 8910:2021, destruksi sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah destruksi asam dengan tahapan sebagai berikut:



Gambar 3.7 *Tahapan Destruksi Sampel Maggot BSF dan Sampah Organik*

3.4.5 Pembuatan Larutan Standar

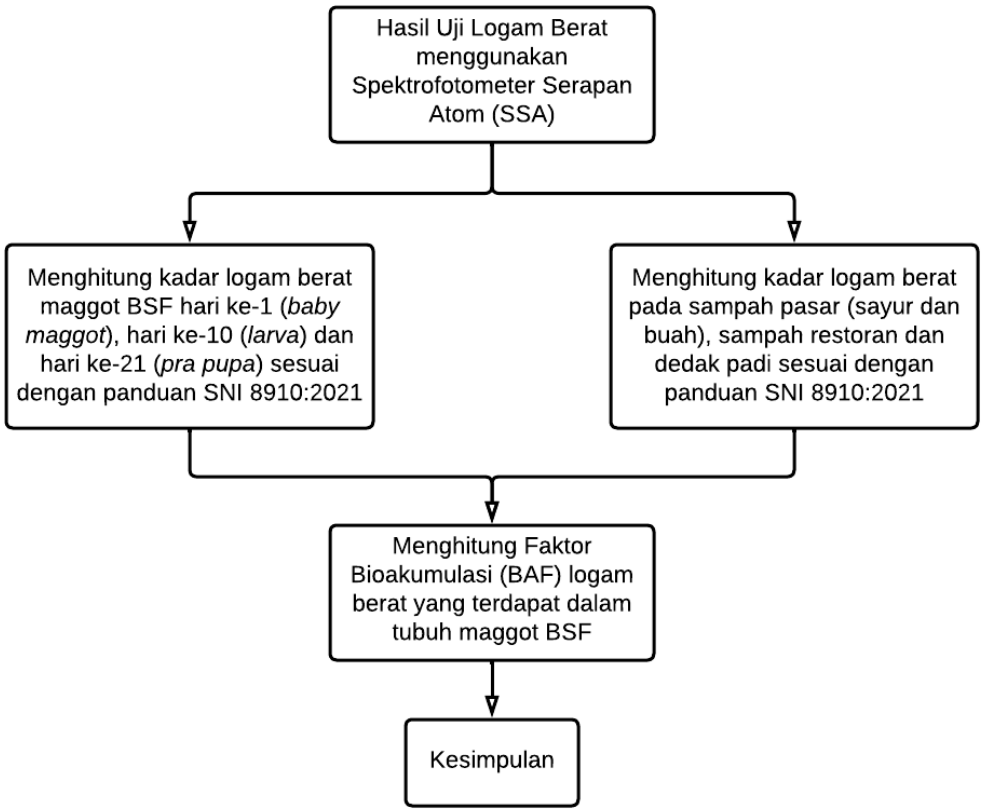
Larutan Standar adalah larutan yang dibuat dengan mencampurkan larutan yang mengandung konsentrasi zat yang ingin diukur. Berikut adalah cara pembuatan larutan standar logam menurut SNI 8910:2021

1. Larutan Standar Logam Pb
   - Timbang ± 0,1598 g $Pb(NO_3)_2$ larutkan dengan sesedikit mungkin HNO3 (1:1), kemudian masukkan ke dalam labu ukur 1000 mL
   - Tambahkan 10 mL HNO_3 pekat dan air bebas mineral hingga tepat tanda tera kemudian homogenkan
   - Hitung kembali kadar Pb berdasarkan hasil penimbangan (1 mL ≈ 100 µg Pb).
2. Larutan Standar Logam Cd
   - Timbang ± 0,100 g logam Cd, masukkan ke dalam labu ukur 1000 mL
   - Tambahkan 4 mL HNO_3 pekat sampai larut
   - Tambahkan 8 mL HNO_3 pekat dan air bebas mineral hingga tepat tanda tera, kemudian homogenkan
   - Hitung kembali kadar Cd berdasarkan hasil penimbangan (1 mL ≈ 100 µg Cd).
3. Larutan Standar Logam Fe
   - Timbang ± 0,100 g logam Fe, masukkan ke dalam labu ukur 1000 mL
   - Tambahkan campuran 10 mL HCl (1+1) dan 3 mL HNO_3 pekat sampai larut
   - Tambahkan 5 mL HNO_3 pekat kemudian tambahkan air bebas mineral hingga tepat tanda tera dan homogenkan
   - Hitung kembali kadar Fe berdasarkan hasil penimbangan (1 mL ≈ 100 µg Fe).
4. Larutan Standar Logam Cr
   - Timbang ± 0,1923 g CrO_3, masukkan ke dalam labu ukur 1.000 mL yang berisi air bebas mineral

- Tambahkan 10 mL HNO_3 pekat kemudian tambahkan air bebas mineral hingga tepat tanda tera dan homogenkan
- Hitung kadar Cr berdasarkan hasil penimbangan (1 mL ≈ 100 μg Cr).

3.5 Analisis Data

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dan dianalisis untuk menguji kandungan logam berat pada sampel sampah pasar, sampah restoran, sampel kontrol dan juga sampel maggot BSF. Parameter logam berat yang dianalisa dalam penelitian ini, yaitu Pb, Cd, Fe dan Cr.



Gambar 3.8 *Tahapan Analisis Data*

3.5.1 Kadar Logam Berat pada Maggot BSF dan Sampah Pakan Maggot

Metode yang digunakan untuk menganalisis data mengacu pada SNI 8910:2021 mengenai cara uji kadar logam berat dalam contoh uji limbah padat, sedimen dan tanah dengan metode destruksi asam menggunakan Spektrometer Serapan Atom (SSA) yang dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan,

Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Persamaan yang digunakan untuk menentukan kandungan logam berat Pb, Cd, Fe dan Cr pada maggot BSF, sampah pasar dan sampah restoran serta sampel kontrol menurut SNI 8910:2021 adalah sebagai berikut :

$$\textbf{Kadar Logam (mg/kg)} = \frac{\boldsymbol{C\ x\ V}}{\boldsymbol{W\ x\ P}}\ \boldsymbol{x\ Fp}$$

C = Konsentrasi contoh uji yang didapat dari AAS (mg/L)

V = Volume akhir setelah proses destruksi (mL)

W = Berat contoh uji (g)

Fp = Faktor pengenceran

P = Fraksi Padat

3.5.2 Bioakumulasi Logam Berat pada Maggot BSF

Setelah mengetahui kandungan logam berat pada maggot BSF, sampah pasar dan sampah restoran akan dilakukan analisis dan menghitung faktor bioakumulasi (BAF) logam berat pada maggot BSF. BAF logam berat menggambarkan seberapa banyak logam berat tertentu yang akan terakumulasi dalam jaringan organisme hidup, seperti maggot BSF dalam hubungannya dengan konsentrasi logam berat di lingkungan tempat organisme tersebut hidup (Monica B., 2022). Persamaan BAF menurut Walker (1990) adalah sebagai berikut:

$$\text{BAF} = \frac{\text{Konsentrasi Dalam Organisme}}{\text{Konsentrasi Dalam Makanan}}$$

Menurut Baker (1981) dalam Widawati et al (2018), akumulasi logam berat dalam dibedakan menjadi 3 bagian yaitu akumulatif rendah (BAF<100), akumulatif sedang (BAF≤1000) dan akumulatif tinggi (BAF>1000).

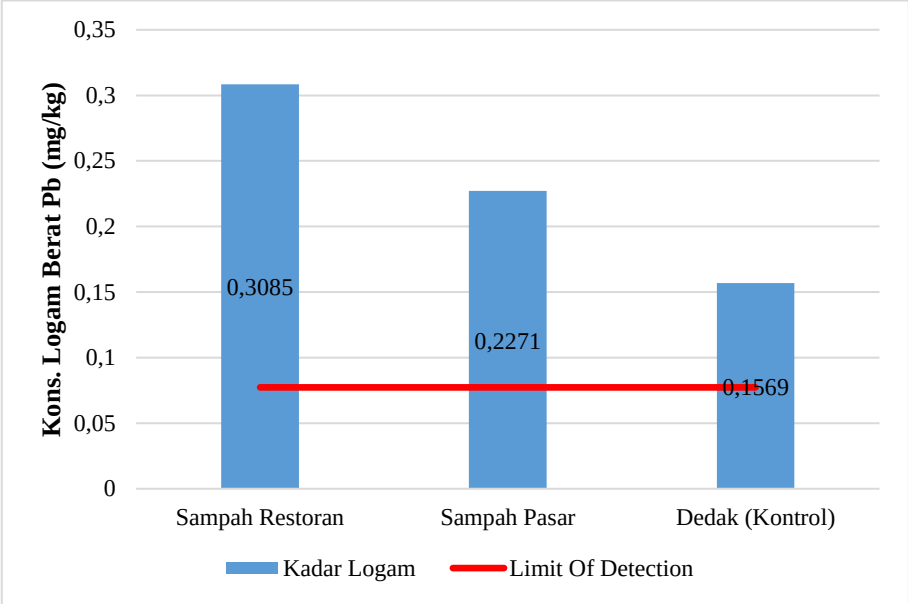
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kadar Logam Berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi (Kontrol)

Kandungan logam berat dalam sampah restoran, sampah pasar dan dedak padi dapat menjadi masalah serius karena sumber-sumber ini sering mengandung residu pestisida, bahan pengawet, dan kontaminan lainnya. Sampah restoran seringkali terdiri dari berbagai jenis bahan makanan yang mungkin telah terpapar logam berat selama proses penanaman, pengolahan, atau penyimpanan. Demikian pula, sampah pasar yang terdiri dari sayuran dan buah-buahan yang tidak terjual dapat mengandung pestisida dan logam berat dari praktik pertanian intensif (Ali et al., 2019). Penggunaan maggot BSF dalam pengolahan sampah organik ini menawarkan solusi biologis yang efisien, namun juga berisiko karena maggot BSF dapat mengakumulasi logam berat dari bahan organik yang mereka konsumsi (Lalander et al., 2016).

4.1.1 Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi (Kontrol)

Kandungan logam berat timbal (Pb) dalam sampah organik dari restoran dan pasar dapat menjadi ancaman serius bagi kesehatan lingkungan dan manusia. Sumber-sumber kontaminasi Pb ini termasuk residu pestisida, kemasan makanan, dan polusi dari kendaraan yang menempel pada bahan makanan di pasar (Ali et al., 2019). Hasil pengujian kadar logam berat Pb dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 *Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Pakan Maggot BSF*

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa terdapat kandungan logam berat Pb pada ketiga pakan maggot BSF. Kadar Pb pada sampah restoran yaitu 0,308 mg/kg, kadar Pb pada sampah pasar (sayuran dan buah) yaitu 0,227 mg/kg serta kadar Pb pada dedak sebagai pakan kontrol maggot BSF adalah 0,156 mg/kg. Ketiga sampel ini berada diatas nilai LoD (*Limit Of Detection*) yaitu 0,0773 yang berarti bahwa keberadaan logam berat dalam sampel bukan hanya deteksi, tetapi juga dapat diukur dengan tingkat keakuratan yang tinggi. (Shrivastava & Gupta, 2011).

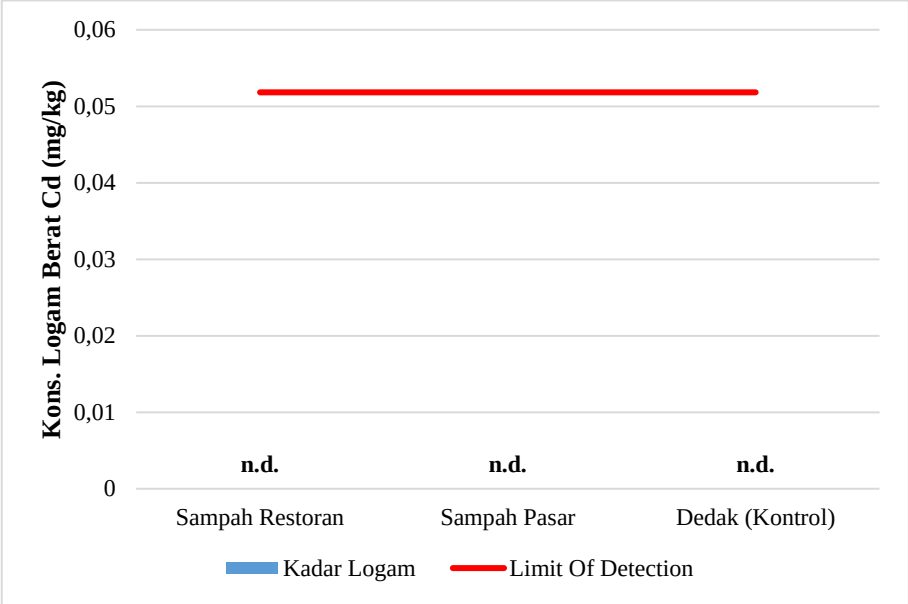
Hasil analisis ini didukung oleh penelitian yang dilakukan dalam (Wong et al., 2020) yang menyatakan bahwa terdapat kadar Pb sebanyak 0,12-0,59 ppm di pasar tradisional Hong Kong. Selain itu juga, sebuah studi yang dilakukan dalam (Rumbos et al., 2021) yang menguji kandungan logam berat pada sampah organik restoran di Spanyol dan menemukan kandungan Pb didalam sampah tersebut. Penggunaan sampah restoran dan sampah pasar yag mengandung logam Pb sebagai bahan pakan untuk maggot BSF sangat krusial karena akan menyebabkan produk akhir dari maggot BSF ini terkontaminasi logam Pb dan akan menyebar ke lingkungan sekitar (ketika dijadikan pupuk) (Anastačia et al., 2019). Sebuah penelitian juga dilakukan dalam (Kong et al.,

2018) yang dimana menemukan beberapa logam berat seperti Pb, Cd, Zn pada sampel dedak padi di Provinsi Guizhou, China dengan kadar yang cukup tinggi.

Logam berat yang ditemukan pada sampah pasar, sampah restoran serta dedak padi dapat berasal dari berbagai sumber kontaminasi yang berasal dari proses dan lingkungan pertanian. Menurut Darmono (1995) kemampuan tanaman untuk menyerap logam dari tanah tempat mereka tumbuh memungkinkan tanaman sayuran dan buah-buahan mengandung logam berat seperti timbal (Pb). Tingkat akumulasi logam berat dalam tanaman dapat dipengaruhi oleh variabel seperti logam berat yang ditemukan dalam pupuk, air irigasi, dan tanah yang terkontaminasi. Selain itu, pengikatan logam berat seperti Pb dapat difasilitasi oleh senyawa tanaman seperti gugus sulfhidril, amina, dan karboksil. Logam berat ini kemudian dapat menyebar ke seluruh tanaman, termasuk buah dan daunnya (Charlena, 2004). Darmono (1995) menyatakan bahwa beberapa faktor yang memengaruhi akumulasi logam berat dalam tanaman termasuk morfologi dan fisiologi tanaman, lama paparan logam Pb, dan kondisi tanah tempat tanaman tumbuh.

4.1.2 Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi (Kontrol)

Kadmium (Cd) adalah logam berat beracun yang secara alami hadir dalam tanah sebagai hasil dari proses pembentukan mineral yang mengandung kadmium (Alloway, 1995). Kadmium yang ditemukan dalam sampah pasar dan restoran kemungkinan besar berasal dari berbagai sumber kontaminasi di lingkungan perkotaan. Sumber-sumber utama termasuk limbah industri, penggunaan pupuk yang mengandung fosfat, dan limbah domestik yang mengandung kadmium. Hasil pengujian kadar Cd dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 *Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Pakan Maggot BSF*

Dari hasil pengujian kandungan logam berat Cd pada sampel tidak terdeteksi adanya logam Cd. Hal ini disebabkan oleh dua kemungkinan yaitu kadar logam berat Cd memang tidak ada atau terdapat kadar logam berat Cd tetapi dalam jumlah yang sangat kecil, di bawah *Limit of Detection* (LOD) sebesar 0,052 sehingga tidak terukur. Hasil pengujian logam berat Cd dalam sampel ini bisa juga disebabkan oleh karakteristik Cd yang memiliki mobilitas lebih tinggi dibandingkan dengan Timbal (Pb) sehingga keberadaannya tidak menetap dan tersebar dengan konsentrasi sangat kecil (Suyono & Sugiarto, 1997).

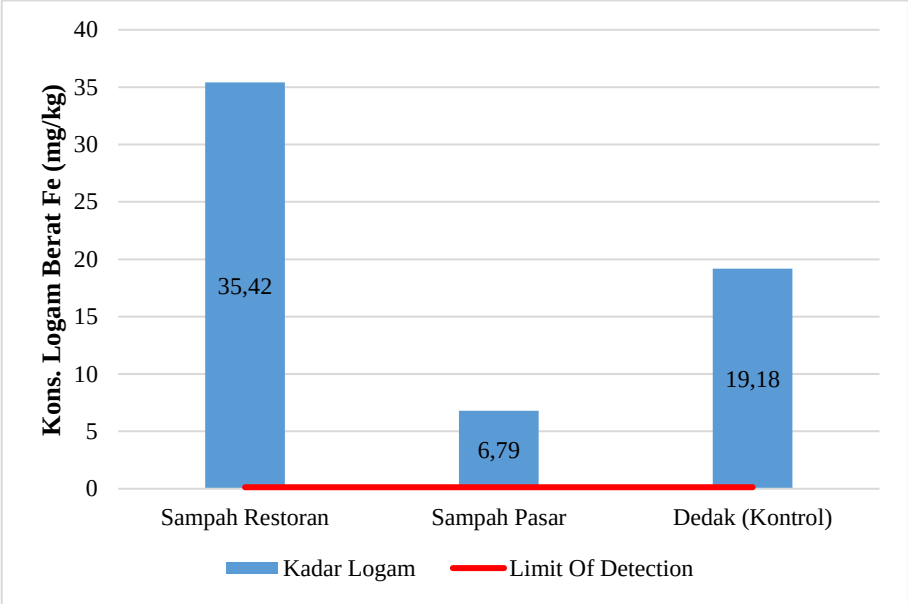
Hasil ini serupa dengan hasil penelitian yang dilakukan pada (G. M et al., 2019) di daerah Barkin-Ladi yang dimana daerah tersebut merupakan lahan bekas tambang timah tetapi mendapatkan nilai yang sangat kecil yaitu sekitar 0,006 – 0,14 mg/kg pada sampel sayuran. Selain itu, berdasarkan penelitian (Suganda et al., 2006), yang dilaksanakan pada dua jenis tanah dengan mineral yang berbeda secara alami, kedua tanah tersebut sudah mengandung logam berat Cd, bukan akibat pencemaran tetapi sebagai turunan dari bahan Standar tanah. Hasil analisis logam pada dua tanah tersebut masih tergolong sangat rendah atau dapat dikatakan tenah tersebut belum tercemar. Sebuah penelitian juga dilakukan dalam (Kong et al., 2018) yang dimana menemukan beberapa

logam berat seperti Pb, Cd, Zn pada sampel dedak padi di Provinsi Guizhou, China dengan kadar yang cukup tinggi.

Logam berat Cd mudah terserap oleh tanah dan biasanya terdapat dalam pupuk fosfat (Herero dan Martin, 1993) sebagaimana yang diamati dalam penelitian (Surtipanti et al., 1995) di tanah sawah di daerah Pantai Utara Jawa Barat, konsentrasi logam berat Cd dalam tanah sawah di wilayah tersebut cukup signifikan yaitu >1 ppm, hal ini disebabkan oleh penggunaan pupuk kimia secara berkepanjangan, menunjukkan kecenderungan penumpukan logam di lingkungan tersebut. Oleh karena itu, penggunaan pupuk yang mengandung fosfat dapat mempengaruhi kandungan Cd pada sampah sisa sayur dan buah serta sisa makanan yang berasal dari hasil pertanian tersebut.

4.1.3 Kadar Logam Berat Besi (Fe) pada Sampel Sampah Organik dan Dedak Padi (Kontrol)

Logam berat besi (Fe) yang ditemukan dalam sampah pasar dan resto umumnya berasal dari berbagai sumber seperti limbah makanan yang mengandung sisa-sisa daging atau produk daging yang kaya akan besi (Li et al., 2020). Selain itu, peralatan masak yang terbuat dari logam besi juga dapat menjadi sumber kontaminasi (Wang et al., 2018). Hasil pengujian kadar logam berat Fe dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



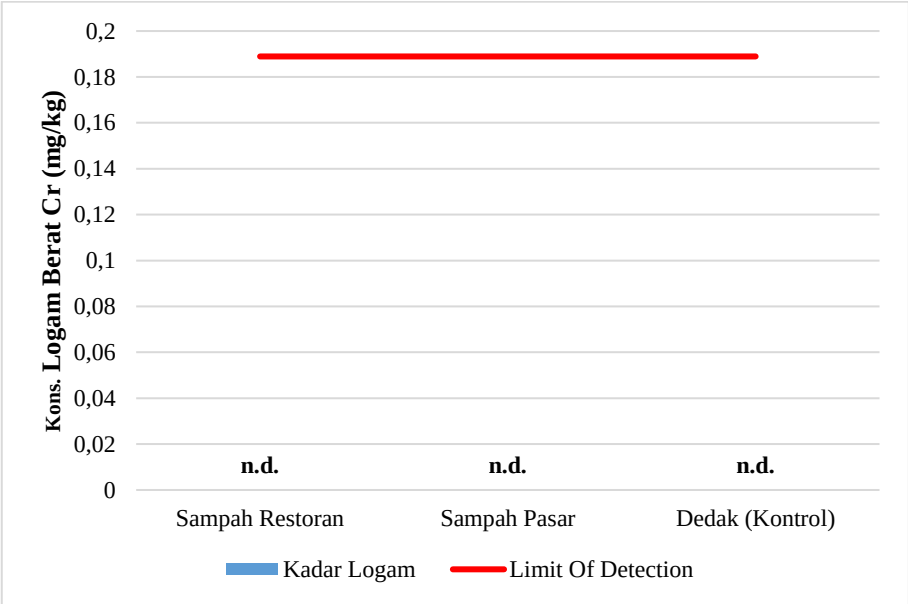
Gambar 4.3 *Kadar Logam Berat Besi (Fe) pada Pakan Maggot BSF*

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa terdapat kandungan logam berat Fe pada ketiga pakan maggot BSF. Kadar Fe pada sampah restoran yaitu 35,42 mg/kg sedangkan kadar Fe pada sampah pasar (sayuran dan buah) yaitu 6,79 mg/kg dan kadar Fe pada dedak (kontrol) yaitu 19,18 mg/kg. Ketiga sampel ini berada diatas nilai LoD (*Limit Of Detection*) yaitu 0,1306 yang berarti bahwa keberadaan logam berat dalam sampel bukan hanya deteksi, tetapi juga dapat diukur dengan tingkat keakuratan yang tinggi. (Shrivastava & Gupta, 2011).

Tingginya kadar Fe pada sampah organik dan dedak padi yang digunakan sebagai pakan maggot BSF justru menimbulkan efek positif, pernyataan ini didukung oleh penelitian (Holoubek et al., 2002) yang menyatakan kandungan besi dalam pakan ayam petelur benar-benar meningkatkan efisiensi penggunaan pakan. Ada bukti bahwa kandungan besi sebesar 30 miligram dapat meningkatkan titer immunoglobin secara keseluruhan, kadar hemoglobin, dan serum darah pada ayam petelur (El-Husseiny et al., 2009). Namun, kandungan besi yang terdapat pada pakan hewan ternak akan berbahaya jika melewati ambang batas (Darmono, 2011).

4.1.4 Kadar Logam Berat Kromium (Cr) pada Sampel Sampah Organik

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 logam Kromium (Cr) termasuk dalam limbah B3 dengan toksisitas sedang. Logam kromium sulit mengalami degradasi dalam lingkungan perairan sehingga berpotensi terakumulasi dalam tubuh organisme (Kadim & Risjani, 2022). Hasil pengujian kadar logam berat Cr dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 *Kadar Logam Berat Kromium (Cr) pada Pakan Maggot BSF*

Dari hasil pengujian kandungan logam berat Cr pada sampel dianggap tidak terdeteksi adanya logam Cr. Hal ini disebabkan oleh dua kemungkinan yaitu kadar logam berat Cr memang tidak ada atau terdapat kadar logam berat Cr tetapi dalam jumlah yang sangat kecil, di bawah *Limit of Detection* (LOD) sebesar 0,1889 sehingga tidak terukur. Logam berat Cr jarang ditemukan disampah pasar dan sampah restoran serta dedak karena kadar Cr umumnya disebabkan oleh industri logam, tekstil, dan penyamakan kulit. Namun, logam Cr bisa saja dapat terakumulasi dalam sampah pasar dan sampah makanan serta dedak melalui tanaman yang tumbuh di tanah terkontaminasi atau melalui air yang tercemar, yang kemudian masuk ke rantai makanan. Pernyataan ini didukung oleh penelitian yang dilakukan pada (Rahardjo & Prasetyaningsih 2021) menunjukkan bahwa kromium yang paling banyak terdapat pada air sungai 0,067 mg/L/kg, sedimen 4,623 mg/L/kg, tanah sawah 0,260 mg/L/kg,

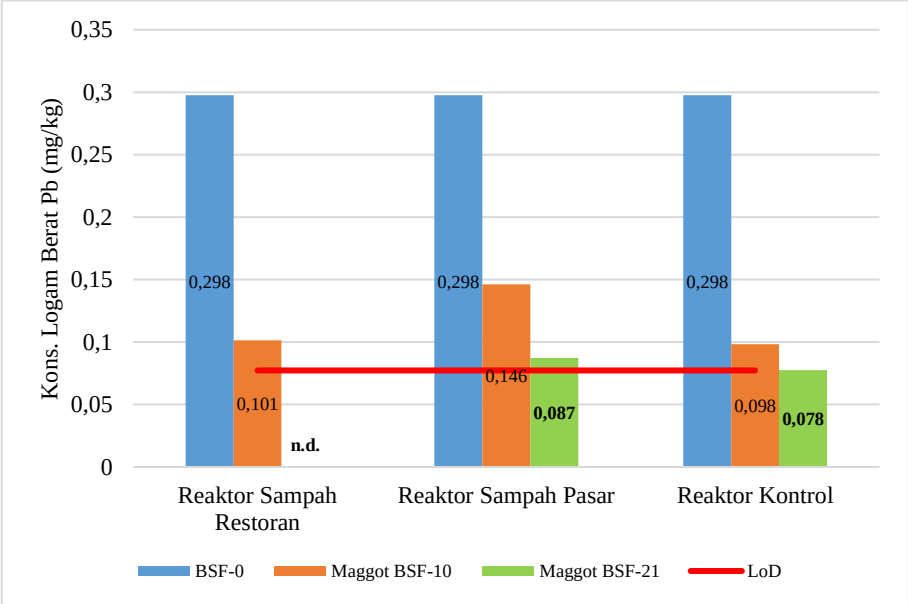
air sumur 0,0004 mg/L/kg, moluska 1,065 mg/L/kg, ikan 0,6144 mg/L/kg, dan padi 2,4817 mg/L/kg.

4.2 Kadar Logam Berat (Pb, Cd, Fe, Cr) pada Sampel Maggot *Black Soldier Fly* (BSF)

Hasil analisis penelitian ini, konsentrasi logam berat menurun secara signifikan seiring dengan siklus pertumbuhan maggot BSF (*five doll maggot*, larva, dan prapupa). Hasil analisis, pada hari ke-0 (fase *five doll maggot*) kandungan logam berkisar 27,2 mg/kg untuk besi dan 0,2 mg/kg untuk timbal sedangkan untuk kadmium dan kromium tidak terdeteksi adanya kandungan logam berat. Pada hari ke-10 (fase larva) kandungan logam berat untuk besi dan timbal menurun sedangkan untuk kromium terdeteksi adanya kandungan logam sebanyak 0,2 mg/kg. Sementara itu, untuk kadmium tidak terdeteksi adanya logam dari awal pertumbuhan maggot BSF sampai masa prapupa. Menurut Diener et al (2015) maggot BSF dapat memiliki kemampuan biotransformasi yang lebih efektif terhadap kadmium dibandingkan logam berat lainnya, yang berarti mereka bisa mengubah kadmium menjadi bentuk yang kurang berbahaya atau kurang terdeteksi. Sebaliknya, logam seperti timbal dan kromium mungkin lebih mudah terakumulasi dalam tubuh maggot karena kurangnya mekanisme biotransformasi yang efisien.

4.2.1 Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Maggot *Black Soldier Fly* (BSF)

Logam berat Pb juga dikenal sebagai timbal adalah salah satu kontaminan yang paling umum di maggot BSF. Sumber-sumber kontaminasi Pb ini termasuk residu pestisida, kemasan makanan, dan polusi dari kendaraan yang menempel pada bahan makanan di pasar (Ali et al., 2019). Seperti yang ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan pada (Luo et al., 2015), maggot yang dibudidayakan di lingkungan yang terkontaminasi dapat mengumpulkan Pb dalam jumlah yang besar. Ini dapat dianggap sebagai tanda pencemaran lingkungan (Luo et al., 2015). Hasil analisis kadar logam berat Pb pada maggot BSF bisa dilihat pada **gambar 4.5**.



Gambar 4.5 *Kadar Logam Berat Timbal (Pb) pada Maggot BSF*

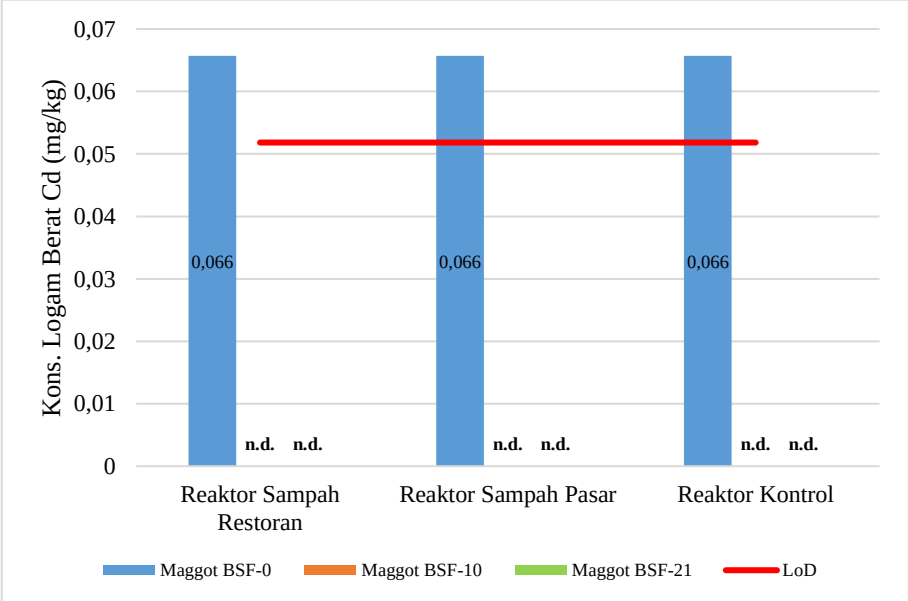
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa kandungan logam berat Pb mengalami penurunan seiring dengan siklus pertumbuhan maggot BSF. Kadar logam yang terdapat pada maggot BSF hari ke-0 yaitu 0,298 mg/kg tetapi setelah dimasukkan ke reaktor sampah dan reaktor kontrol, kadar logam Pb pada maggot BSF tersebut mengalami penurunan. Pada reaktor sampah restoran maggot BSF hari ke-10 (masa larva) memiliki kadar logam sebanyak 0,101 mg/kg dan setelah memasuki hari ke-21 (masa prapupa) tidak terdeteksi adanya kadar logam berat Pb karena dari hasil analisis nilai kandungan logam Pb berada dibawah nilai LoD. Hal ini serupa dengan reaktor sampah pasar dan reaktor kontrol juga mengalami penurunan tetapi tidak secara signifikan seperti yang terjadi pada maggot BSF yang ada di reaktor sampah restoran.

Hasil analisis juga serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Diener et al., (2015) dimana kandungan Pb yang ditemukan pada sampel larva BSF sebanyak 3,8 mg/kg dan tidak ditemukan kadar logam berat Pb pada sampel prapupa BSF. Menurut penelitian yang dilakukan Hare (1992) meskipun kandungan Pb pada larva BSF dan prapupa BSF terbilang cukup rendah, logam berat Pb biasanya disimpan dalam struktur sel granular yang mengandung logam sebelum diangkut dan diimobilisasi dalam kerangka luar. Logam berat

Pb kemungkinan besar dibuang selama masa ganti kulit mirip dengan serangga darat (Roberts & Johnson, 1978).

4.2.2 Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Maggot *Black Soldier Fly* (BSF)

Kadmium adalah logam berat yang menimbulkan masalah lingkungan. Ini dapat ditemukan secara luas di kerak bumi dengan konsentrasi rata-rata sekitar 0,1 mg/kg. Tingkat tertinggi senyawa kadmium di lingkungan terakumulasi dalam batuan sedimen, dan fosfat laut mengandung sekitar 15 mg kadmium/kg. Kadmium juga terdapat dalam jumlah kecil pada makanan tertentu seperti sayuran berdaun, kentang, biji-bijian, hati dan ginjal, serta krustasea dan moluska. Selain itu, bahan makanan yang kaya akan kadmium dapat meningkatkan konsentrasi kadmium, contohnya adalah hati, jamur, kerang, remis, coklat bubuk dan rumput laut kering (Tchounwou et al., 2012).



Gambar 4.6 *Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Maggot BSF*

Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa kadar Cd dalam maggot BSF-0 adalah yang tertinggi, yaitu 0,066 mg/kg, melebihi garis LoD yang ditetapkan pada 0,05 mg/kg. Ini menunjukkan bahwa kadar Cd pada maggot ini dapat dideteksi dengan jelas karena berada di atas batas LoD. Sebaliknya, kadar Cd

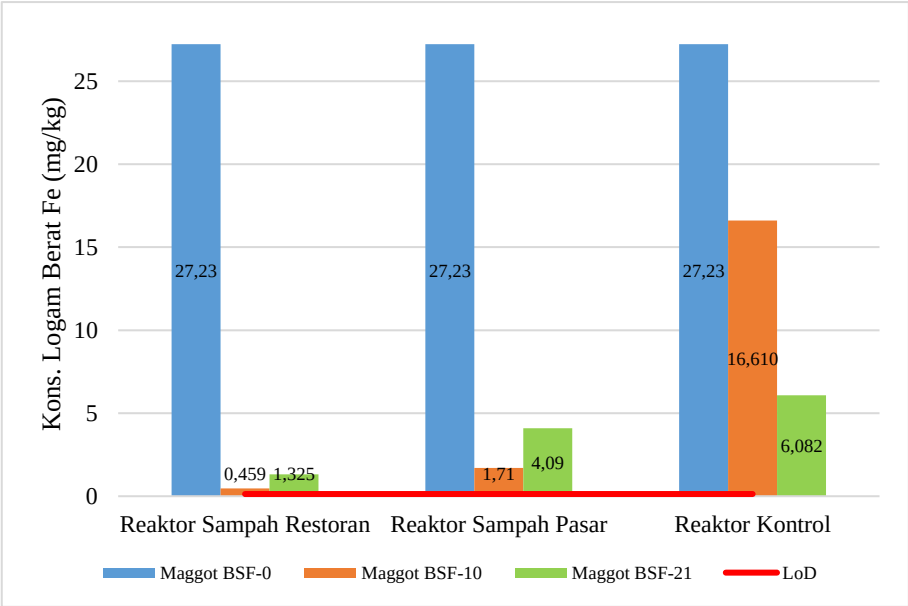
dalam maggot BSF dari reaktor sampah restoran, sampah pasar dan kontrol semuanya adalah 0,026 mg/kg. Nilai ini berada di bawah garis LoD, yang berarti kadar logam berat Cd memang tidak ada atau terdapat kadar logam berat Cd tetapi dalam jumlah yang sangat kecil.

Beberapa penelitian sebelumnya juga menemukan kadar logam Cd dalam jumlah yang kecil. Sebagai contoh, Diener et al., (2015) menunjukkan bahwa maggot BSF diberi pakan dari sampah organik yang terkontaminasi dengan logam Cd memiliki kadar yang kecil yaitu sekitar 0,2 mg/kg pada masa larva (hari ke-10) sedangkan untuk masa prapupa (hari ke-21) tidak terdeteksi adanya kandungan logam Cd. Selain itu juga, menurut Diener et al (2015) penurunan kadar logam Cd itu diakibatkan karena siklus pertumbuhan maggot BSF, seiring pertumbuhan dan bertambahnya massa tubuh konsentrasi logam berat dapat mengalami pengenceran. Dengan kata lain, seiring dengan meningkatnya ukuran dan berat maggot, jumlah kadmium yang ada mungkin tersebar dalam massa tubuh yang lebih besar sehingga konsentrasinya menurun di bawah nilai LoD.

4.2.3 Kadar Logam Berat Besi (Fe) pada Maggot *Black Soldier Fly* (BSF)

Hasil analisis yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7** dapat disimpulkan kadar logam Fe pada semua maggot BSF berada jauh diatas nilai LoD yang berarti bahwa keberadaan logam berat dalam sampel bukan hanya deteksi, tetapi juga dapat diukur dengan tingkat keakuratan yang tinggi. (Shrivastava & Gupta, 2011). Hasil analisis ini juga menunjukkan bahwa kadar Fe pada maggot BSF mengalami fluktuatif (tidak stabil). Maggot BSF yang berada pada reaktor sampah restoran dan sampah pasar cenderung menurun pada fase larva (hari ke-10) tetapi kadar Fe mengalami kenaikan setelah mencapai fase prapupa (hari ke-21). Hal ini berbeda dengan maggot BSF yang berada di reaktor kontrol, pada fase larva (hari ke-10) memiliki kadar logam sebanyak 16,61 mg/kg dan mengalami penurunan setelah mencapai fase prapupa yaitu sebanyak 6,08 mg/kg. Penyebab ketidak stabilan kadar logam Fe pada maggot BSF ini dikarenakan terdapatnya perbedaan jenis atau kualitas pakan yang diberikan. Misalnya pada masa hari ke-0 sampai hari ke-9 pakan yang

diberikan memiliki kandungan logam Fe yang sangat tinggi tetapi pada hari ke-10 dan seterusnya pakan yang diberikan memiliki kandungan logam Fe yang lebih rendah.

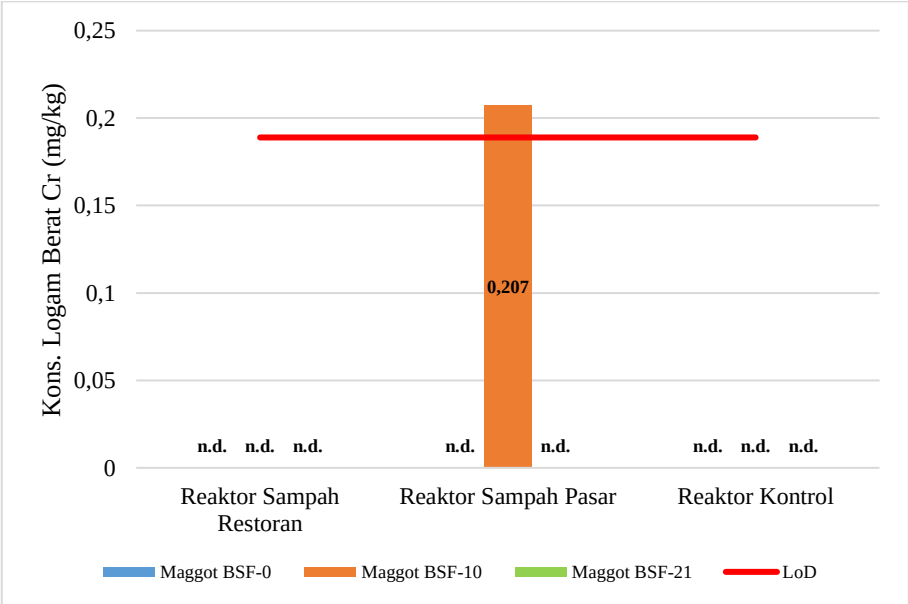


***Gambar 4.7** Kadar Logam Berat Besi (Fe) pada Maggot BSF*

Tingginya kadar logam Fe pada maggot BSF ini disebabkan karena maggot BSF memiliki enzim dan transport protein yang dapat memfasilitasi masuknya logam Fe ke dalam sel dan jaringan mereka. Ini memungkinkan logam Fe dari limbah organik yang dikonsumsi untuk diambil dan diakumulasi dalam tubuh maggot BSF selama proses pertumbuhan dan perkembangan (Diener et al., 2015). Penelitian yang dilakukan pada (Lalander et al., 2013) menunjukkan bahwa maggot yang diberi makan limbah organik kaya akan nutrisi yang juga mengandung logam Fe memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam Fe dalam tubuh. Limbah organik seperti sisa makanan atau pupuk kandang yang menjadi pakan maggot seringkali mengandung kadar logam Fe yang cukup tinggi. Sedangkan menurut Diener et al (2015) logam Fe merupakan unsur penting bagi maggot BSF tetapi berpotensi menjadi racun. Oleh karena itu, kadar logam Fe menurun seiring dengan siklus hidup maggot BSF. Hal ini serupa dengan yang dilakukan Maryanski et al (2002), larva lalat rumah hanya mampu mengakumulasi logam Fe sebanyak 216 mg/kg dari makanan yang terkontaminasi logam Fe sebanyak 7.000 mg/kg.

4.2.4 Kadar Logam Berat Kromium (Cr) pada Maggot *Black Soldier Fly* (BSF)

Kromium (Cr) adalah logam berat yang alamiahnya hadir dalam kadar rendah dalam batuan, hewan, tanah, debu, dan gas. Di alam, logam murni kromium tidak pernah ditemukan; sebaliknya, biasanya ditemukan dalam bentuk senyawa padat atau mineral yang mengandung unsur-unsur lainnya (Mukaromah, 2008). Menurut Tchounwou et al (2012) sumber kontaminan logam Cr berasal dari industri logam, industri penyamakan kulit dan lain sebagainya.



Gambar 4.8 *Kadar Logam Berat Kromium (Cr) pada Maggot BSF*

Hasil analisis kadar Cr pada **Gambar 4.8** menunjukkan bahwa kadar logam Cr hanya terdeteksi pada maggot BSF hari ke-10 (masa larva) yang berada di reaktor sampah pasar yaitu 0,207 mg/kg. Sementara itu, pada maggot BSF yang lain tidak terdeteksi adanya kandungan logam Cr atau hanya berada disekitar nilai LoD. Salah satu faktor yang mempengaruhi tingginya kadar logam Cr pada maggot BSF hari ke-10 (masa larva) adalah terdapatnya perbedaan jenis atau kualitas pakan yang diberikan. Hal ini serupa dengan kadar logam Fe pada maggot BSF. Menurut beberapa penelitian, logam berat Cr jarang ditemukan pada hewan seperti maggot BSF yang dimana tempat budidayanya tidak berada di daerah industri. Tetapi, tidak menutup

kemungkinan maggot BSF bisa terkontaminasi logam Cr melalui tanah yang tercemar kemudian masuk ke rantai makanan seperti sayur dan buah.

4.3 Nilai Bioakumulasi Faktor (BAF) pada Maggot BSF

Bioakumulasi Faktor (BAF) adalah nilai yang digunakan untuk menggambarkan kemampuan organisme hidup, seperti tumbuhan, hewan, atau mikroorganisme, untuk menyerap dan mengakumulasi zat kimia, seperti logam berat, dari lingkungannya (air, tanah, udara) ke dalam tubuhnya (MacFarlane et al., 2003). Menurut Baker (1981) dalam (Widawati et al., 2018), akumulasi logam berat dalam dibedakan menjadi 3 bagian yaitu akumulatif rendah (BAF<100), akumulatif sedang (BAF≤1000) dan akumulatif tinggi (BAF>1000). Dalam penelitian ini, nilai BAF dihitung untuk mengetahui kemampuan maggot BSF mengakumulasi logam berat yang berasal dari pakannya. Berikut hasil analisis nilai BAF pada maggot BSF:

Tabel 4.1 *Nilai Bioakumulasi Faktor (BAF) pada Setiap Fase Pertumbuhan Maggot BSF*

	Reaktor Sampah Restoran	**Reaktor Sampah Pasar**	**Reaktor Kontrol**
	BAF	**BAF**	**BAF**
Timbal (Pb)			
Maggot BSF-0	-	-	-
Maggot BSF-10	0,328	0,643	0,626
Maggot BSF-21	0,125	0,384	0,495
Kadmium (Cd)			
Maggot BSF-0	-	-	-
Maggot BSF-10	0	0	0
Maggot BSF-21	0	0	0
Besi (Fe)			
Maggot BSF-0	-	-	-
Maggot BSF-10	0,013	0,25	0,866
Maggot BSF-21	0,069	0,60	0,317
Kromium (Cr)			
Maggot BSF-0	-	-	-
Maggot BSF-10	0	2,194	0
Maggot BSF-21	0	0	0

*(-) = belum mengkonsumsi makanan

Dari hasil analisis diatas, BAF pada maggot BSF terhadap tiga pakan yang diberikan memiliki nilai yang bervariatif. Nilai BAF pada maggot BSF hari ke-0 dianggap tidak ada karena belum mengkonsumsi makanan. Sedangkan untuk logam Cd dan Cr khususnya pada maggot BSF hari ke-10 dan hari ke-21 tidak terdeteksi adanya akumulasi logam berat karena pada maggot BSF maupun pakan yang diberikan memiliki kadar logam Cd dan Cr dibawah nilai LoD atau bisa disebut tidak terdeteksi adanya kadar logam. Berdasarkan nilai bioakumulasi faktor yang dikategorikan pada (Baker 1981), dapat diketahui bahwa semua maggot BSF yang ada di tiga reaktor memiliki nilai BAF <100 dan menunjukkan bahwa tingkat akumulatif logam berat masih tergolong rendah.

Nilai BAF pada maggot BSF cenderung menurun dari setiap fase pertumbuhannya, hal ini bisa saja disebabkan oleh proses detoksifikasi yang dilakukan maggot BSF. Menurut Diener et al (2015), konsentrasi logam berat pada maggot BSF masa prapupa (hari ke-21) secara signifikan lebih rendah dibandingkan pada maggot BSF masa larva (hari ke-10) hal ini disebabkan karena perilaku maggot BSF membuang air besar sebelum menjadi kepompong. Proses buang air besar belum terjadi pada maggot hari ke-10 dan logam berat akan dikeluarkan sebelum masa prapupa (hari ke-21). Namun (Sheppard et al., 2002) melaporkan tanpa data pendukung bahwa prapupa mempunyai isi perut yang kosong ketika bermigrasi. Sebaliknya, (Aoki dan Suzuki., 1984) menggambarkan hilangnya lebih dari 50% kandungan kadmium (Cd) pada maggot BSF. Selain itu juga, menurut Urbini et al (2006) penghapusan logam berat yang efektif melalui buang air besar telah dijelaskan pada larva tawon kertas sosial Polistes dominulus (*Hymenoptera: Vespidae*). Namun, meskipun logam berat terakumulasi dalam sel-sel yang melapisi saluran pencernaan, logam-logam tersebut mungkin akan dibuang dalam waktu singkat.

4.4 Pengaruh Logam Berat Terhadap Siklus Pertumbuhan (berat) pada Maggot BSF

Siklus pertumbuhan maggot BSF terdiri dari 5 tahap yaitu telur, larva, pupa, pra pupa, dan dewasa. Siklus hidup terlama meliputi tahap larva dan kepompong, sedangkan tahap yang relatif singkat meliputi tahap dewasa dan penetasan telur (Kaya et al.,2021). Karena masa hidup BSF sangat pendek, larva betina akan bertelur dalam jumlah besar, yang akan segera berkembang menjadi larva yang baru menetas (Liu et al.,2021). Siklus pertumbuhan maggot juga dipengaruhi beberapa faktor seperti suhu, kadar air dan kandungan toksik yang terdapat pada makanannya. Berikut ditampilkan hasil analisis berat maggot BSF dari setiap fasenya.

Tabel 4.2 *Berat Maggot BSF di setiap Reaktor*

Fase	Reaktor Sampah Restoran	Reaktor Sampah Pasar	Reaktor Kontrol
	Berat (g/ekor)	Berat (g/ekor)	Berat (g/ekor)
Five Doll Maggot (hari ke-0)	0,01	0,01	0,01
Larva (hari ke-10)	0,18	0,11	0,18
Prapupa (hari ke-21)	0,25	0,12	0,25

Analisis berat maggot BSF ini dilakukan dengan *random sampling* sebanyak 10 maggot BSF sebagai representatif dari keseluruhan maggot BSF yang ada direaktor dan dilakukan pengukuran berat kemudian dirata-ratakan. Dari hasil analisis tersebut dapat dilihat bahwa pertumbuhan maggot BSF pada reaktor sampah restoran dan reaktor kontrol memiliki berat mencapai 0,25 gr. Tetapi, pada reaktor sampah pasar maggot BSF hanya memiliki berat 0,12 gr.

Terhambatnya pertumbuhan maggot BSF di reaktor sampah pasar kemungkinan besar dipengaruhi oleh tingginya kadar logam berat yang terakumulasi dalam tubuh maggot. Berdasarkan hasil penelitian, maggot BSF di reaktor tersebut mengakumulasi logam Pb sebesar 0,3 – 1,3 mg/kg, Cd sekitar 2,53 mg/kg, Fe sebesar 0,6 – 4 mg/kg, dan Cr sebanyak 2,1 mg/kg dalam setiap fase pertumbuhannya. Menurut Rasdi et al (2022), kadar logam

berat yang tinggi pada pakan maggot dapat memperlambat pertumbuhan dan mengganggu enzim-enzim penting dalam proses metabolisme maggot.

Dengan demikian, adanya tendensi bahwa logam berat dalam limbah pasar dan restoran memengaruhi pertumbuhan maggot BSF ini membutuhkan analisis lebih lanjut untuk mengkonfirmasi sejauh mana paparan logam berat tersebut berdampak pada fisiologi dan proses metabolisme maggot BSF secara signifikan.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan berdasarkan tujuan dari penelitian kali ini, yaitu:

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, kandungan logam berat pada maggot BSF yang diukur pada beberapa kondisi yang berbeda adalah sebagai berikut:

   a) Maggot BSF hari ke-0 (belum mengkonsumsi sampah):

   - Pb : 0,298 mg/kg
   - Cd : 0,066 mg/kg
   - Fe : 27,23 mg/kg
   - Cr : Tidak terdeteksi

   b) Maggot BSF hari ke-10 Reaktor Sampah Restoran:

   - Pb : 0,1 mg/kg
   - Cd : Tidak terdeteksi
   - Fe : 0,4 mg/kg
   - Cr : Tidak terdeteksi

   c) Maggot BSF hari ke-10 Reaktor Sampah Pasar:

   - Pb : 0,1 mg/kg
   - Cd : Tidak terdeteksi
   - Fe : 1,7 mg/kg
   - Cr : 0,2 mg/kg

   d) Maggot BSF hari ke-10 Reaktor Kontrol:

   - Pb : 0,09 mg/kg
   - Cd : Tidak terdeteksi
   - Fe : 16,6 mg/kg
   - Cr : Tidak terdeteksi

   e) Maggot BSF hari ke-21 Reaktor Sampah Restoran:

   - Pb : Tidak terdeteksi
   - Cd : Tidak terdeteksi

- Fe : 1,3 mg/kg
- Cr : Tidak terdeteksi

f) Maggot BSF hari ke-21 Reaktor Sampah Pasar:

- Pb : 0,08 mg/kg
- Cd : Tidak terdeteksi
- Fe : 4 mg/kg
- Cr : Tidak terdeteksi

g) Maggot BSF hari ke-21 Reaktor Kontrol:

- Pb : 0,07 mg/kg
- Cd : Tidak terdeteksi
- Fe : 6,08 mg/kg
- Cr : Tidak terdeteksi

2. Adanya kandungan logam berat (Pb, Cd, Fe, Cr) sangat mempengaruhi siklus pertumbuhan maggot BSF khususnya pada berat. Pakan yang paling mempengaruhi pertumbuhan maggot BSF adalah sampah pasar (sayur dan buah) dimana berat maggot pada fase prapupa hanya 0,12 gr. Sementara itu, maggot yang diberi pakan sampah restoran dan dedak padi memiliki berat 0,25 gr. Hal tersebut merupakan salah faktor yang bisa dilihat untuk menilai tingkat pengaruh pakan yang diberikan pada maggot BSF terhadap siklus pertumbuhannya.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan untuk mencari lebih detail sumber sampah yang digunakan sebagai pakan maggot agar dapat mengetahui asal logam berat yang ada pada sampah organik. Selain itu, dibutuhkan juga penelitian dan analisis lebih lanjut mengenai pengaruh logam berat yang diakumulasi oleh maggot BSF terhadap siklus pertumbuhannya

DAFTAR PUSTAKA

Alvarez, L. (2012). Scholarship at UWindsor *The Role of Black Soldier Fly, Hermetia illucens (L.) (Diptera: The Role of Black Soldier Fly, Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae) in Sustainable Waste Management in Northern Stratiomyidae) in Sustainable Waste Management in Northern Climates Climates*.

Astri, P. (2023). *Kadar Logam Berat dan Faktor Biokonsentrasi Pb, Cd, dan Sn pada Sayuran dan Tanah dari Lahan Bekas Tambang Timah*.

Damanhuri, E. & Padmi, T. (2010). *Pengelolaan Sampah*, Bandung: Fakultas Teknik Sipil Dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.

Damanhuri, Enri, (2008) "*Diktat Landfilling Limbah*", Institut Teknologi Bandung, Versi 2008, 40.

Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2015). *Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, Hermetia illucens and effects on its life cycle*. *Journal of Insects as Food and Feed*, *1*(4), 261–270.

Fahmi, M. R. (2015, March 1). *Optimalisasi proses biokonversi dengan menggunakan mini-larva Hermetia illucens untuk memenuhi kebutuhan pakan ikan*.

FAO, (2014). Food Waste Footprint. http://www.fao.org/3/i_3991e/i3991e.pdf (accessed 25 July 2024).

Farahdiba, A. U., Warmadewanthi, I. D. A. A., Fransiscus, Y., Rosyidah, E., Hermana, J., & Yuniarto, A. (2023). *The present and proposed sustainable food waste treatment technology in Indonesia: A review*. *Environmental Technology and Innovation*, *32*.

Guerero, L.A., Maas, G., and Hogland, W. (2013), "*Solid Waste Management Challenges For Cities In Developing Countries-Review*" Waste Management JournalVol. 33 pp 220 –232

Hem, & Saurin. (2011). *Project FISH-DIVA Project FISH-DIVA Final Report Saurin Hem Final Report Saurin HEM Maggot-Bioconversion Research Program in Indonesia Concept of New Food Resources Results and*

Applications Maggot-Bioconversion Research Program in Indonesia Concept of New Food Resources Results and Applications.

Holmes, E., Li, J. v., Marchesi, J. R., & Nicholson, J. K. (2012). *Gut microbiota composition and activity in relation to host metabolic phenotype and disease risk.* In *Cell Metabolism* (Vol. 16, Issue 5, pp. 559–564). Cell Press.

Kong, X., Liu, T., Yu, Z., Chen, Z., Lei, D., Wang, Z., Zhang, S., Zhang, H., & Li, Q. (2018). *Heavy metal bioaccumulation in rice from a high geological background area in Guizhou Province, China*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(10).

Li, T., Yang, W., Gao, Q., Wei, M., Li, H., Ma, X., Wen, T., Guo, J., & Jin, D. (2024). *Reducing the mass and decreasing the bioavailability of heavy mental from organic wastes treated by black soldier fly larvae*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *269*.

Newton, L., Sheppard, C., Watson, D. W., & Burtle, G. (2005). *Using The Black Soldier Fly, Hermetia Illucens, As A Value-Added Tool For The Management Of Swine Manure*.

Popa R, Green T. 2012. *Biology and ecology of the black soldier fly*. Amsterdam (NL): DipTerra LCC e-Book.

Rasdi, M., Ishak, F. L., Hua, A. R., Shaifuddin, M., Dom, C., Shafie, N., Abdullah, F. A., Kari, A., Liyana, F., Razali Ishak, A., Wee Hua, P., Norashikin, S., Dom, N. C., Shafie, F. A., Abdullah, A. M., Kari, Z. A., & Atan Edinur, H. (2022). *Article History Growth and Development of Black Soldier Fly (Hermetia illucens (L.), Diptera: Stratiomyidae) Larvae Grown on Carbohydrate, Protein, and Fruit-Based Waste Substrates*.

Rumbos, C. I., Mente, E., Karapanagiotidis, I. T., Vlontzos, G., & Athanassiou, C. G. (2021). *Insect-based feed ingredients for aquaculture: A case study for their acceptance in greece*. *Insects*, *12*(7).

Salam, M., Shahzadi, A., Zheng, H., Alam, F., Nabi, G., Dezhi, S., Ullah, W., Ammara, S., Ali, N., & Bilal, M. (2022). *Effect of different environmental conditions on the growth and development of Black Soldier Fly Larvae and*

its utilization in solid waste management and pollution mitigation. *Environmental Technology and Innovation*, *28*.

Sarwono, J. (2012). Metode Riset Skripsi Pendekatan Kuantitatif (Menggunakan Prosedur SPSS): Tuntunan Praktis dalam Menyusun Skripsi.

Shekdar, A. V. (2009),"*Sustainable Solid Waste Management: An Intergrated Approach For Asian Countries*" Waste Management Journal,Vol. 29 pp 1438 – 1448

Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C., & Sumner, S. M. (2002). *Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). In J. Med. Entomol* (Vol. 39, Issue 4).

Sholikha, M., Natasya, C., & Puspitasari, L. (2021). *Analisis Kandungan Logam Timbal (Pb), Besi (Fe) Dan Magnesium (Mg) Pada Pakan Ayam Ras Petelur Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) Analysis of Lead (Pb), Iron (Fe) And Magnesium (Mg) in Layer Chicken Feed Using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) Method*. *14*(2).

Shrivastava, A., & Gupta, V. (2011). *Methods for the determination of limit of detection and limit of quantitation of the analytical methods*. *Chronicles of Young Scientists*, *2*(1), 21.

Siddiqui, S. A., Ristow, B., Rahayu, T., Putra, N. S., Widya Yuwono, N., Nisa', K., Mategeko, B., Smetana, S., Saki, M., Nawaz, A., & Nagdalian, A. (2022). *Black Soldier Fly Larvae (BSFL) And Their Affinity for Organic Waste Processing. In Waste Management* (Vol. 140, pp. 1–13). Elsevier Ltd.

Sundari, E., Munzir, A. (2022). *Pengolahan Sampah Organik Menggunakan Larva Black Soldier Fly Atau Maggot* Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta 2) (Vol. 2, Issue 1).

Syahrizal, S., Ediwarman, Safratilofa, & Ridwan, M. (2022). *Analysis of the use of media resulting from bioconversion of organic waste in the production of maggots BSF (black soldier fly)*. Jurnal Akuakultur Indonesia, *21*(1), 1–10.

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). *Heavy Metals Toxicity and the Environment*.

Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah

Walker, C. H. (1987). *Kinetic Models for Predicting Bioaccumulation of Pollutants in Ecosystems*. In *Environmental Pollution* (Vol. 44).

Yadav, K. K., Kumar, V., Krishnan, S., Gupta, N., Kumar Yadav, K., Kumar, S., Nejad, Z. D., Majeed Khan, M. A., & Alam, J. (2021). *Evaluating heavy metals contamination in soil and vegetables in the region of North India: Levels, transfer and potential human health risk analysis*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *82*, 103563.

Zheng, S. S., Yang, Z., & Wu, Y. C. (2020). *Liver transplantation for intrahepatic and perihilar cholangiocarcinoma: Current and future. Hepatobiliary & pancreatic diseases international*: *HBPD INT*, *19*(2), 101–102.

LAMPIRAN

Lampiran.1 Hasil Uji Logam Pb, Logam Cd, Logam Fe dan Logam Cr

1. Berat Sampel Uji

Berat Sampel			
Sampel	**Berat Sebelum Oven (g)**	**Berat Setelah Oven (g)**	**Fraksi Padat (P)**
Sampah Pasar	37	33,8	1,74
Sampah Restoran	37	34,1	1,63
Dedak	36,5	33,3	1,84
BSF Hari-0	34,5	33,8	1,16
BSF-10 Pasar	36,8	33	2,09
BSF-10 Resto	39,2	34,5	1,94
BSF-10 Dedak	38,9	34,5	1,88
BSF-21 Pasar	42,5	35,2	2,28
BSF-21 Resto	43,5	35,2	2,46
BSF-21 Dedak	37,5	33,5	2,00

Menentukan nilai Fraksi Padat (P) menggunakan persamaan:

$$Fraksi\ Padat\ (P) = \frac{W2 - W0}{W1 - W0}$$

Keterangan:

W0 = Berat cawan kosong (gr)

W1 = Berat cawan dan sampel uji sebelum dikeringkan (gr)

W2 = Berat cawan dan sampel uji kering setelah oven (gr)

Contoh Perhitungan pada maggot BSF-0:

Diketahui:

W0 = 29,5 g

W1 = Berat sampel uji sebelum dikeringkan + berat cawan kosong (5 g + 29,5 g) = **34,5 g**

W2 = Berat sampel uji kering setelah oven + berat cawan kosong (4,3 g + 29,5 g) = **33,8 g**

Penyelesaian:

$$Fraksi\ Padat\ (P) = \frac{W2 - W0}{W1 - W0}$$

$$Fraksi\ Padat\ (P) = \frac{33{,}8 - 29{,}5}{34{,}5 - 29{,}5}$$

$$\boldsymbol{Fraksi\ Padat\ (P) = 1{,}16\ g}$$

2. Uji Logam Berat

- Nilai Absorbansi Larutan Standar

Pb

Kode	C std (mg/l)	Abs
Std-1	0,05	0,0021
Std-2	0,1	0,0053
Std-3	0,3	0,0126
Std-4	0,6	0,0234
Std-5	1	0,0358
Std-6	1,5	0,0534
rerata abs		0,0221

Cd

Kode	C std (mg/l)	Abs
Std-1	0,05	0,0100
Std-2	0,1	0,0203
Std-3	0,2	0,0476
Std-4	0,3	0,0749
Std-5	0,5	0,1240
Std-6	0,8	0,1940
Std-7	1	0,2506
Std-8	2	0,4820
rerata abs		0,1504

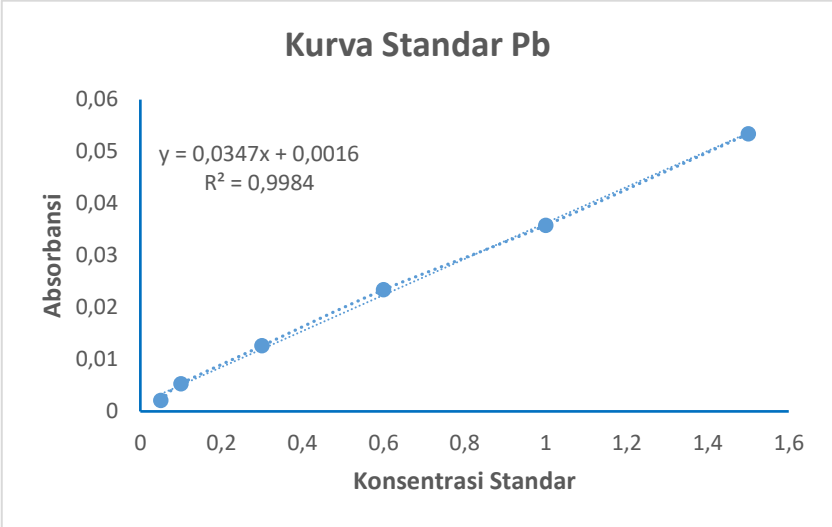
Fe

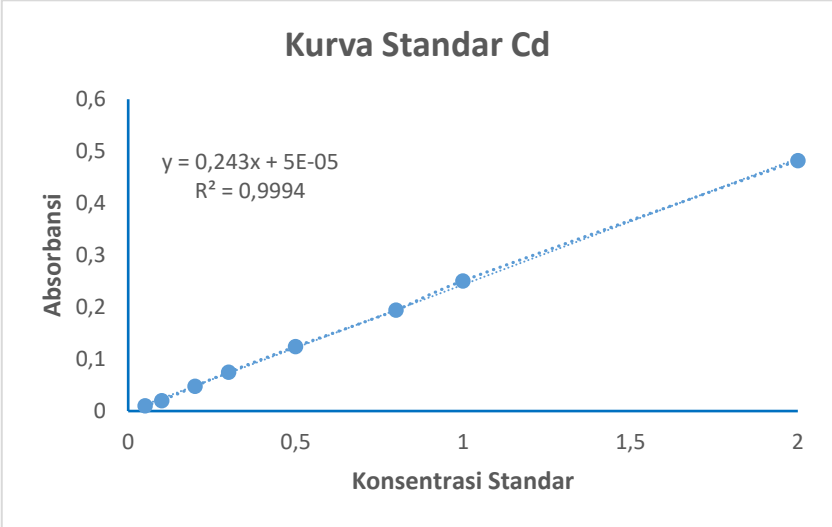
Kode	C std (mg/l)	Abs
Std-1	0,3	0,0110
Std-4	1	0,0378
Std-5	2	0,0740
Std-6	3	0,1147
Std-7	4	0,1471
Std-8	5	0,1872
Std-7	0,1	0,0040
rerata abs		0,0823

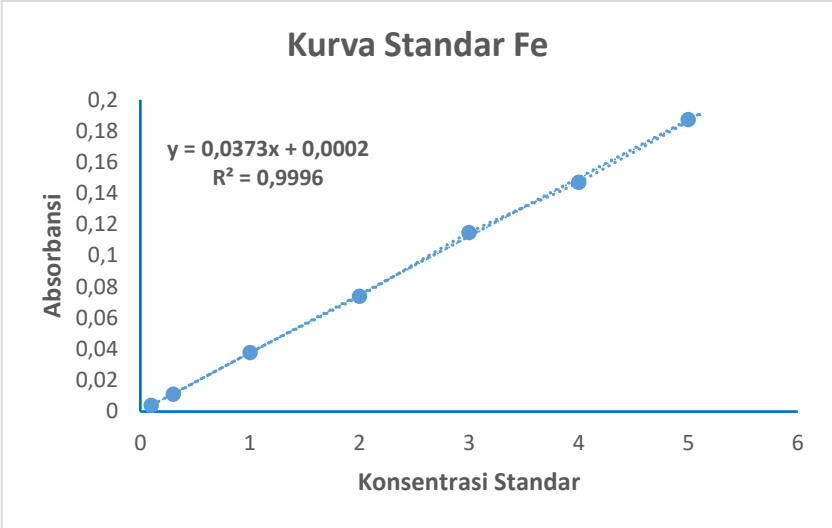
Cr

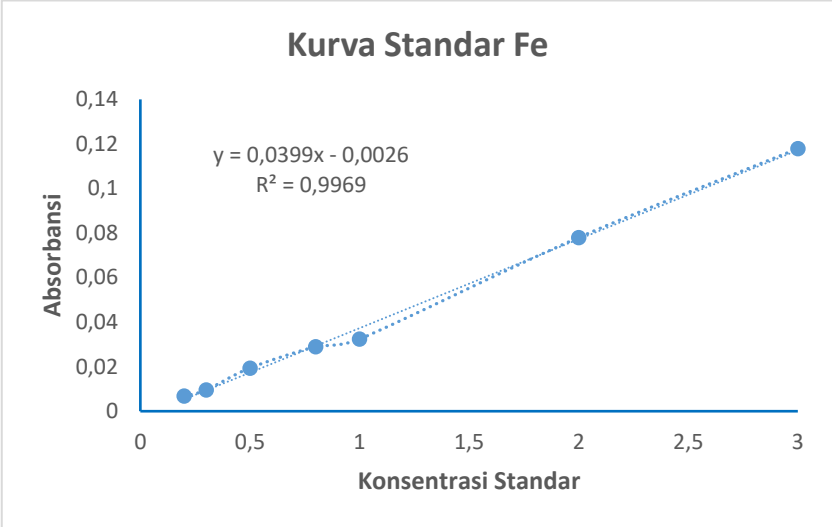
Kode	C std (mg/l)	Abs
Std-5	0,2	0,0068
Std-6	0,3	0,0095
Std-7	0,5	0,0194
Std-8	0,8	0,0290
Std-9	1	0,0324
Std-10	2	0,0780
Std-10	3	0,1179
rerata abs		0,0419

- Kurva Kalibrasi









- Perhitungan Nilai *Limit Of Detection* (LoD)

Parameter	Standar Eror	Slope	Nilai LoD
Pb	0,00089	0,03468	0,0773
Cd	0,00420	0,24303	0,0518
Fe	0,00162	0,03729	0,1306
Cr	0,00251	0,03993	0,1889

Contoh perhitungan nilai LoD pada logam Pb:

$$Limit\ Of\ Detection = \frac{3\ x\ Std\ Error}{Slope}$$

$$Limit\ Of\ Detection = \frac{3\ x\ 0{,}00089}{0{,}03468}$$

$$\boldsymbol{Limit\ Of\ Detection = 0,0773}$$

- Perhitungan Kandungan Logam Berat pada Maggot BSF

No	Nama Sampel	Kadar Logam Berat Pb (mg/kg)
1	BSF Hari Ke-0	0,298
2	BSF Hari Ke-10 Reaktor Sampah Resto	0,101
3	BSF Hari Ke-10 Reaktor Sampah Pasar	0,146
4	BSF Hari Ke-10 Reaktor Kontrol	0,098
5	BSF Hari Ke-21 Reaktor Sampah Resto	<LoD
6	BSF Hari Ke-21 Reaktor Sampah Pasar	0,087
7	BSF Hari Ke-21 Reaktor Kontrol	0,078
	LoD (*Limit Of Detection)*	**0,077**

No	Nama Sampel	Kadar Logam Berat Cd (mg/kg)
1	BSF Hari Ke-0	0,066
2	BSF Hari Ke-10 Reaktor Sampah Resto	<LoD
3	BSF Hari Ke-10 Reaktor Sampah Pasar	<LoD
4	BSF Hari Ke-10 Reaktor Kontrol	<LoD
5	BSF Hari Ke-21 Reaktor Sampah Resto	<LoD
6	BSF Hari Ke-21 Reaktor Sampah Pasar	<LoD
7	BSF Hari Ke-21 Reaktor Kontrol	<LoD
	LoD (*Limit Of Detection)*	**0,052**

No	Nama Sampel	Kadar Logam Berat Fe (mg/kg)
1	BSF Hari Ke-0	27,229
2	BSF Hari Ke-10 Reaktor Sampah Resto	0,459
3	BSF Hari Ke-10 Reaktor Sampah Pasar	1,711
4	BSF Hari Ke-10 Reaktor Kontrol	16,610
5	BSF Hari Ke-21 Reaktor Sampah Resto	1,325
6	BSF Hari Ke-21 Reaktor Sampah Pasar	4,090
7	BSF Hari Ke-21 Reaktor Kontrol	6,082
	LoD (*Limit Of Detection)*	**0,131**

No	Nama Sampel	Kadar Logam Berat Cr (mg/kg)
1	BSF Hari Ke-0	<LoD
2	BSF Hari Ke-10 Reaktor Sampah Resto	<LoD
3	BSF Hari Ke-10 Reaktor Sampah Pasar	0,207
4	BSF Hari Ke-10 Reaktor Kontrol	<LoD
5	BSF Hari Ke-21 Reaktor Sampah Resto	<LoD
6	BSF Hari Ke-21 Reaktor Sampah Pasar	<LoD
7	BSF Hari Ke-21 Reaktor Kontrol	<LoD
	LoD (*Limit Of Detection)*	**0,189**

Contoh perhitungan kadar logam berat Pb pada maggot BSF hari ke-0:

Persamaan yang digunakan sesuai SNI 8910-2021

$$Kadar\ Logam\ Berat\ \left(\frac{mg}{kg}\right) = \frac{C\ x\ V}{W\ x\ P} xFp$$

Keterangan:

C = Konsentrasi contoh uji yang didapat dari AAS (mg/L)

V = Volume Akhir Setelah Destruksi (mL)

W = Berat Contoh Uji Kering (gr)

P = Fraksi Padat

Fp = Faktor Pengenceran (bila tidak ada pengenceran, maka Fp = 1)

Penyelesaian

Diketahui:

C = 0,260

V = 45 mL

W = 33,8 gr

P = 1,16

Fp = 1

$$Kadar\ Logam\ Berat\ \left(\frac{mg}{kg}\right) = \frac{0{,}260\ x\ 45}{33{,}8\ x\ 1{,}16} x1$$

$$\boldsymbol{Kadar\ Logam\ Berat\ Pb = 0{,}298\ mg/kg}$$

3. Bioakumulasi Faktor (BAF) Logam Berat pada Maggot BSF

	Reaktor Sampah Restoran	Reaktor Sampah Pasar	Reaktor Kontrol
	BAF	**BAF**	**BAF**
Timbal (Pb)			
Maggot BSF-0	-	-	-
Maggot BSF-10	0,328	0,643	0,626
Maggot BSF-21	0,125	0,384	0,495
Kadmium (Cd)			
Maggot BSF-0	-	-	-
Maggot BSF-10	0	0	0
Maggot BSF-21	0	0	0
Besi (Fe)			
Maggot BSF-0	-	-	-
Maggot BSF-10	0,013	0,25	0,866
Maggot BSF-21	0,069	0,60	0,317
Kromium (Cr)			
Maggot BSF-0	-	-	-
Maggot BSF-10	0	2,194	0
Maggot BSF-21	0	0	0

Contoh perhitungan BAF logam berat Pb pada maggot BSF hari ke-0 yang diberi pakan sampah restoran:

$$\text{BAF} = \frac{\text{Konsentrasi Dalam Organisme}}{\text{Konsentrasi Dalam Makanan}}$$

$$\text{BAF} = \frac{0{,}298}{0{,}308}$$

$$\mathbf{BAF = 0,965}$$

Lampiran.2 Dokumentasi Penelitian

<table>
<tr>
<td>
Maggot BSF hari ke-0</td>
<td>
Maggot BSF disetiap kantong reaktor</td>
</tr>
<tr>
<td>
Reaktor aquaponik</td>
<td>
Pengumpulan sampah untuk pakan maggot BSF</td>
</tr>
</table>

	
Kantong sampah digabung ke reaktor	Kantong sampah digabung ke reaktor

	
Proses penimbangan berat maggot BSF	Proses destruksi sampel maggot BSF



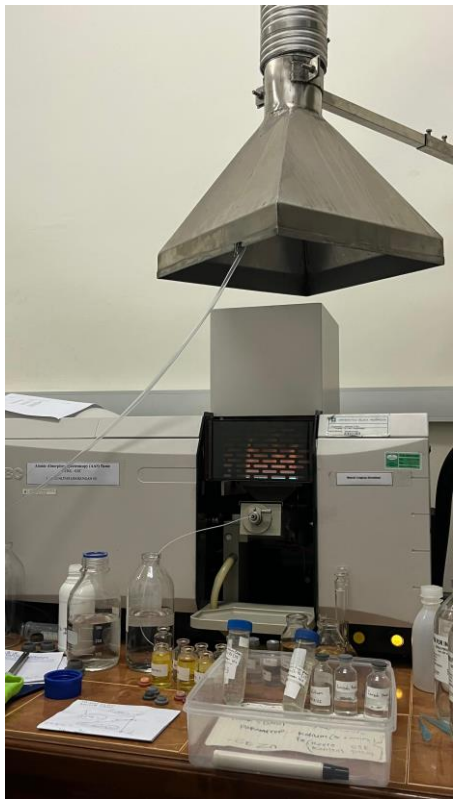
Proses destruksi sampel maggot BSF



Proses penyaringan sampel

	
Maggot BSF hari ke-14 reaktor sampah restoran	Maggot BSF hari ke-14 reaktor sampah pasar

	
Sampel sampah organik, kontrol dan BSF-0	Sampel maggot BSF hari ke-10

	
Proses pengujian AAS	Proses pengujian AAS

RIWAYAT HIDUP



Andi Tegar Virgie Sinensis merupakan nama lengkap penulis yang lahir di Ara-Bulukumba, Makassar pada 22 Oktober 2002. Penulis menempuh pendidikan di SDN 01 Batu Putih Sulawesi Tenggara dan menempuh pendidikan di sebuah SMP dan SMA Negeri di Kabupaten Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara. Hingga saat ini menempuh pendidikan strata-1 (S1) pada program studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Selain aktif dalam bidang akademik, penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan non akademik di Teknik Lingkungan UII seperti Enviro Champions, Lintas Lingkungan dan pengurus HMTL.